

**Ein wissensbasiertes Fuzzy-System
zur Entscheidungsunterstützung innerhalb des
Technologiefrühaufklärungsprozesses**

- Fuzzy-basierte Modellierung des Technologiefrühaufklärungsprozesses -

Von der Fakultät für Maschinenbau, Elektrotechnik
und Wirtschaftsingenieurwesen
der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus - Senftenberg
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Ingenieur
Gunnar Berntsen

geboren am 30.10.1977 in Frankfurt (Oder)

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Ralf Woll

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dieter Specht

Gutachter: Prof. Dr. rer. pol. habil. Magdalena Mißler-Behr

Tag der mündlichen Prüfung: 11.02.2015

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	IV
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Symbolverzeichnis	X
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit	1
1.2 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	2
2 Modellierung von sozio-technischen Systemen zur methodischen Unterstützung betriebswirtschaftlicher Entscheidungen	4
2.1 Planungs- und entscheidungstheoretische Grundlagen	4
2.2 Unbestimmtheit von Informationen als Herausforderung betriebswirtschaftlicher Planung und Entscheidung	7
2.3 Theorien zur Bewältigung von Unbestimmtheit	11
2.4 Identifikation einer unbestimmtheitssituationsadäquaten Modellierungstheorie.....	13
2.5 Die Bedeutung von Unschärfe zur adäquaten Modellierung von sozio- technischen Systemen.....	15
3 Management von Technologien.....	20
3.1 Relevanz des Technologiemanagements.....	20
3.2 Der Technologiebegriff.....	21
3.3 Abgrenzung des Forschungsfeldes Technologiemanagement.....	24
3.4 Inhalte und Aufgaben des Technologiemanagements	26
3.5 Aufgaben und methodische Unterstützung der Technologiefrühaufklärung	29
4 Fuzzy Set Theorie.....	37
4.1 Grundlagen der Fuzzy Set Theorie.....	37
4.1.1 Fuzzy-Mengen und Zugehörigkeitsfunktionen	37
4.1.2 Das Konzept der linguistischen Variablen	42
4.1.3 Fuzzy-Operatoren.....	44
4.1.4 Fuzzy-Relationen.....	53

4.1.5	Fuzzy-Logik und menschliches Schließen	55
4.2	Fuzzy Set Theorie und Wahrscheinlichkeitstheorie im anwendungsbezogenen Vergleich.....	57
4.2.1	Interpretation von Wahrscheinlichkeiten.....	59
4.2.2	Interpretation von Zugehörigkeit.....	61
4.2.3	Grenzen der Wahrscheinlichkeitstheorie und Komplementarität zur Fuzzy Set Theorie	65
4.3	Anwendungsfelder der Fuzzy Set Theorie.....	70
5	Unschärfe und methodische Fragmentierung in der Technologiefrühaufklärung als Forschungsansatz.....	79
5.1	Vorteil der Modellierung unscharfer Modelle	79
5.2	Untersuchung der Eignung der Fuzzy Set Theorie zur Modellierung von Problemstellungen in der Technologiefrühaufklärung	82
5.2.1	Technologiefrühaufklärung und Fuzzy Set Theorie im Kontext der strategischen Unternehmensplanung.....	82
5.2.2	Technologiefrühaufklärung und Fuzzy Set Theorie aus prozessualer und methodischer Sicht	84
5.2.3	Validierung der Theorieauswahl für den Forschungsansatz	86
5.2.3.1	Analyse der Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung.	87
5.2.3.2	Analyse und Bewertung der Übereinstimmung von Merkmalen ausgewählter Unbestimmtheitstheorien mit der Charakteristik der Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung.....	93
5.2.4	Zwischenfazit.....	102
6	Entwicklung eines Konzeptes für die fuzzy-basierte Modellierung des Technologiefrühaufklärungsprozesses	105
6.1	Konzeptionelle Abgrenzung des Betrachtungsbereiches des Technologiefrühaufklärungsprozesses	105
6.2	Konzeption eines wissensbasierten Fuzzy-Systems zur Entscheidungsunterstützung innerhalb des Technologiefrühaufklärungsprozesses	108
6.2.1	Grundstruktur und Funktionsweise eines Fuzzy-Reglers	111
6.2.2	Entwurfsmethodik des Fuzzy-Reglers	119
6.3	Entwicklung des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess	120

6.3.1	Konfiguration der Regelkreisstruktur	120
6.3.2	Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers	129
6.3.2.1	Bestimmung der linguistischen Variablen und linguistischen Werte und Definition der Zugehörigkeitsfunktionen	131
6.3.2.2	Bestimmung der Fuzzy-Operatoren und Inferenzstrategien	159
6.3.2.3	Bestimmung der Defuzzifizierungsmethoden	162
6.3.3	Erstellung der Regelbasis des Fuzzy-Reglers	165
6.3.3.1	Entwicklung des Regelblockes für das Technologielebenszyklus- Konzept	170
6.3.3.2	Entwicklung des Regelblockes für das Technologieportfolio- Konzept	181
6.3.3.3	Entwicklung des Regelblockes für die Szenario-Analyse	191
6.3.3.4	Zwischenfazit	197
6.3.4	Optimierung des Reglerverhaltens	199
7	Kritische Würdigung des Konzeptes für den fuzzy-basierten Technologiefrühaufklärungsprozesses	201
7.1	Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeit	201
7.2	Beurteilung der Ergebnisse, der Weiterentwicklungsmöglichkeiten und der Anwendungsgrenzen des Konzeptes	202
	Literatur	208

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bestimmtheitsgrad von Informationen in Entscheidungssituationen	11
Abbildung 2: Das Potential von Unschärfe am Beispiel der Mustererkennung	18
Abbildung 3: Zusammenhang von Technologieentwicklung und Technikentstehung	23
Abbildung 4: Abgrenzung von Technologie-, F&E- und Innovationsmanagement	25
Abbildung 5: Technologiemanagementprozess	27
Abbildung 6: Klassische und unscharfe Menge der reellen Zahlen, welche viel größer als Eins sind	39
Abbildung 7: Funktionsgraphen und -gleichungen typischer Zugehörigkeitsfunktionen	40
Abbildung 8: Wichtige Kenngrößen unscharfer Mengen	41
Abbildung 9: Linguistische Variable „Betriebstemperatur eines Kühlprozesses“	43
Abbildung 10: UND-Verknüpfung der unscharfen Mengen A und B mit dem Minimum-Operator und dem Algebraischen Produkt	45
Abbildung 11: ODER-Verknüpfung der unscharfen Mengen A und B mit dem Maximum-Operator und der Algebraischen Summe	46
Abbildung 12: Unscharfe Menge A und ihr Komplement A'	46
Abbildung 13: Abbildungsbereiche ausgewählter Fuzzy-Operatoren	50
Abbildung 14: Phasenbezogene konzeptionelle Abgrenzung des Betrachtungsbereiches der Technologiefrühaufklärung	107
Abbildung 15: Komponenten und Größen eines einfachen technischen Regelkreises	109
Abbildung 16: Grundstruktur eines unscharfen Regelkreises	111
Abbildung 17: Fuzzyfizierung einer numerischen Messgröße	112
Abbildung 18: Regelaktivierung und Erfülltheitsgrad der Konklusion bei der Implikation	114
Abbildung 19: Beispiel der Inferenz eines Regelwerkes	117
Abbildung 20: Vorgehensweisen der Defuzzyfizierungsmethoden	119
Abbildung 21: Entwurfsmethodik des Fuzzy-Reglers	120
Abbildung 22: Unscharfer Regelkreis des Technologiefrühaufklärungsprozesses	122

Abbildung 23: Methodenbaukastenansatz zur Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers	130
Abbildung 24: Zugehörigkeitsfunktionen der Patentanmeldungsanzahl je Technologiefeld	140
Abbildung 25: Zugehörigkeitsfunktionen der Patentanmelderanzahl je Technologiefeld.....	141
Abbildung 26: Zugehörigkeitsfunktionen des Bedürfnisbefriedigungsgrades	143
Abbildung 27: Zugehörigkeitsfunktionen der zeitlichen Veränderung eines Signals/Indikators.....	145
Abbildung 28: Zugehörigkeitsfunktionen der Weiterentwickelbarkeit	148
Abbildung 29: Zugehörigkeitsfunktionen der Technologieattraktivität	149
Abbildung 30: Funktionsweise der Fuzzy-Technologie-Portfolio-Analyse.....	150
Abbildung 31: Technologielebenszyklus-Konzept.....	151
Abbildung 32: Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Variablen Lebenszyklusphase	152
Abbildung 33: Linguistische Variablen, linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen der regelbasierten Relevanzanalyse	154
Abbildung 34: Linguistische Variablen, linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen der regelbasierten Konsistenzanalyse	155
Abbildung 35: Linguistische Variablen, linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen der regelbasierten Möglichkeitsanalyse	157
Abbildung 36: Linguistische Variablen, linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen der regelbasierten Clusteranalyse	158
Abbildung 37: Grundstruktur des unscharfen hierarchischen Regelwerkes..	169
Abbildung 38: Überführung der Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe in die Eingangsgrößen des Technologielebenszyklus-Konzept	171
Abbildung 39: Vorgeschaltete Regelmengen des Technologielebenszyklus-Konzeptes	172
Abbildung 40: Regelmengen für den Schlussfolgerungsmechanismus des Technologielebenszyklus-Konzeptes.....	174
Abbildung 41: Ermittlung der Zugehörigkeit zu einer Lebenszyklusphase für den Indikator <i>Zahl der Patentanmeldungen</i>	176

Abbildung 42: Ermittlung der Zugehörigkeit zu einer Lebenszyklusphase für den Indikator <i>Auswirkungen Kosten-Leistungs-Verhältnis</i>	177
Abbildung 43: Ermittlung der Zugehörigkeit zu einer Lebenszyklusphase für den Indikator <i>Breite potentieller Einsatzgebiete</i>	178
Abbildung 44: Ermittlung der Zugehörigkeit zu einer Lebenszyklusphase für den Indikator <i>Investitionen in Technologieentwicklung</i>	179
Abbildung 45: Ermittlung der resultierenden Ausgangsgröße des Technologielebenszyklus-Konzeptes.....	179
Abbildung 46: Defuzzifizierung der Ausgangsgröße und Bestimmung des Technologietyps	180
Abbildung 47: Überführung der Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe in Eingangsgrößen für das Technologieportfolio-Konzept.....	181
Abbildung 48: Vorgeschaltete Regelmengen des Technologieportfolio- Konzeptes	182
Abbildung 49: Überführung der Ausgangsgröße <i>Patentanmeldungsanzahl</i> in die Eingangsgröße <i>Weiterentwickelbarkeit</i>	183
Abbildung 50: Überführung der Ausgangsgröße <i>Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen</i> in die Eingangsgröße <i>Zeitbedarf</i>	185
Abbildung 51: Überführung der Ausgangsgröße <i>Relevanz einer neuen Technologie</i> in die Eingangsgröße <i>Anwendungsumfang</i>	186
Abbildung 52: Überführung der Ausgangsgröße <i>Patentanmeldungsanzahl</i> in die Eingangsgröße <i>Diffusionsverlauf</i>	187
Abbildung 53: Regelmengen für den Schlussfolgerungsmechanismus des Technologieportfolio-Konzeptes für die zweite Bewertungsstufe	187
Abbildung 54: Schlussfolgerungsmechanismus des Technologieportfolio- Konzeptes für die zweite Bewertungsstufe	188
Abbildung 55: Regelmenge für den Schlussfolgerungsmechanismus des Technologieportfolio-Konzeptes für die dritte Bewertungsstufe	189
Abbildung 56: Schlussfolgerungsmechanismus des Technologieportfolio- Konzeptes für die dritte Bewertungsstufe	189

Abbildung 57: Interpretation der Ausgangsmenge und Bestimmung der Positionierung im Technologieportfolio	191
Abbildung 58: Regelmenge für die Fuzzy-Relevanz-Analyse	192
Abbildung 59: Regelmengen zur Ermittlung der Relevanz der Einflussfaktoren	193
Abbildung 60: Schlussfolgerungsmechanismus der Szenario-Analyse zur Ermittlung der Relevanz der Einflussfaktoren.....	194
Abbildung 61: Defuzzifizierung der Ausgangsmengen zur Ermittlung einer Rangordnung nach der Relevanz der Einflussfaktoren	195
Abbildung 62: Regelmengen für die Fuzzy-Konsistenz-, -Möglichkeits- und - Clusteranalyse	196
Abbildung 63: Prototyp des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess	198

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Modellarten	6
Tabelle 2: Schema zur Klassifikation von Unbestimmtheitsituationen und - theorien	15
Tabelle 3: Klassifizierung von Technologiearten	24
Tabelle 4: Methoden und Instrumente der Technologiefrühaufklärung	35
Tabelle 5: Schnittmengen- und Vereinigungs-Operatoren	49
Tabelle 6: Kompensatorische Operatoren	50
Tabelle 7: Relationsmatrix R	54
Tabelle 8: Fuzzy Anwendungen – methodische Ansätze und Anwendungsfelder	72
Tabelle 9: Eignung gebräuchlicher Unbestimmtheitstheorien zur Modellierung von Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung	93
Tabelle 10: Verbesserungspotential der Forschungsarbeit	104
Tabelle 11: Ausprägungen der Größen und Komponenten der Regelkreistypen	128

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer Aided Design
DPMA	Deutsches Patent- und Markenamt
EPA	Europäisches Patentamt
EPO	Europäische Patentorganisation
EPÜ	Europäisches Patentübereinkommen
et al.	und andere
F&E	Forschung und Entwicklung
IPC	International Patent Classification
max	Maximum
min	Minimum
PCT	Patent Cooperation Treaty
pH	lateinisches Akronym für Konzentration des Wasserstoffs
S.	Seite
T	triangulär
TRIZ	russisches Akronym für "Theorie des erfinderischen Problemlösens"
u.a.	und andere
Vgl.	vergleiche
WIPO	World Intellectual Property Organisation
z.B.	zum Beispiel

Symbolverzeichnis

A, B	scharfe bzw. unscharfe Mengen
X, Y	Grundmengen
x, y	Objekte der Grundmenge X bzw. Y
$\mu, \mu(x)$	Zugehörigkeitsfunktion
$\mu_A(x)$	Zugehörigkeitsfunktion der Menge A
μ_{Dreieck}	dreiecksförmige Zugehörigkeitsfunktion
μ_{Trapez}	trapezförmige Zugehörigkeitsfunktion
$\mu_{\text{glockenförmig}}$	glockenförmige Zugehörigkeitsfunktion
$\mu_{\text{s-förmig}}$	s-förmige Zugehörigkeitsfunktion
$\mu_{\text{z-förmig}}$	z-förmige Zugehörigkeitsfunktion
$\mu_{\text{PG}}, \mu_{\text{PK}}, \mu_{\text{V}}, \mu_{\text{NK}}, \mu_{\text{NG}}$	Zugehörigkeitsfunktion des linguistischen Wertes PG (positiv groß), PK (positiv klein), V (verschwindend), NK (negativ klein), NG (negativ groß)
α	griechischer Buchstabe <i>Alpha</i> , hier Parameter zur Beschreibung von Zugehörigkeitsfunktionen
β	griechischer Buchstabe <i>Beta</i> , hier Parameter zur Beschreibung von Zugehörigkeitsfunktionen
γ	griechischer Buchstabe <i>Gamma</i> , hier Parameter zur Beschreibung von Zugehörigkeitsfunktionen beziehungsweise Parameter von Operatoren
δ	griechischer Buchstabe <i>Delta</i> , hier Parameter zur Beschreibung von Zugehörigkeitsfunktionen
m, m_1, m_2	Parameter zur Beschreibung von Zugehörigkeitsfunktionen
\mathring{a}	\mathring{a} -Schnitt einer unscharfen Menge
$^{\circ}\text{C}$	physikalische Einheit Grad Celsius
A'	Komplement der unscharfen Menge A
C	Vereinigungs- beziehungsweise Durchschnittsmenge der unscharfen Mengen A und B
$A \cap B$	Schnittmenge von A und B
$A \cup B$	Vereinigungsmenge von A und B
\in	mathematisches Zeichen <i>Element</i>
$\mu_A(x) \bullet \mu_B(x)$	Multiplikation zweier Zugehörigkeitsfunktionen
$\mu_A(x) + \mu_B(x)$	Addition zweier Zugehörigkeitsfunktionen
$\mu_A(x) - \mu_B(x)$	Subtraktion zweier Zugehörigkeitsfunktionen

p	Parameter von Operatoren beziehungsweise Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses
g	nicht-negative, stetige, monoton steigende, erzeugende Funktion
w	Vektor von Gewichtungen
i, j, n	Laufindizes
$X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$	kartesisches Produkt
R, Z	Fuzzy-Relationen
$=$	gleich
$<$	kleiner als
$>$	größer als
\leq	kleiner gleich als
\geq	größer gleich als
\wedge	Durchschnitt
\vee	Vereinigung
x_e	Messgröße, Eingangsgröße
\bar{x}	Ausgangsgrößenwert der Prämisse einer Regel
$\bar{\mu}_K$	Zugehörigkeitsfunktion der Konklusion
$\mu_K(x_e, \bar{x})$	Zugehörigkeitsfunktion der abgeschwächten Handlungsempfehlung
$\mu_H(\bar{x})$	Zugehörigkeitsfunktion der resultierenden Handlungsempfehlung
u_D	defuzzifizierter Ausgangsgrößenwert u
∞	unendlich
$\%$	Prozentzeichen
M_n	Anzahl von n Experten und Managern
e_i	Einflussfaktor e
r_i	Relevanzpunkte des i -ten Einflussfaktors
ε	griechischer Buchstabe <i>Epsilon</i> , hier Vorselektionskriterium
anz_{nBew}	Häufigkeit der Bewertungen aller Experten und Manager
anz_{iBew}	Häufigkeit der Relevanzpunkte je Einflussfaktor i
r_i^{res}	resultierende Relevanzbewertung je Einflussfaktor i
k_q	Konsistenzpunkte q
p_q	Deskriptoren-Annahmenpaar
anz_{pBew}	Häufigkeit der Konsistenzpunkte eines Annahmenpaares p
b_p^{kon}	konsistentes Annahmebündel

$\text{poss}_{j\text{Bew}}$	Möglichkeitspunkte einer Deskriptorausprägung j
poss_p	Möglichkeit eines Annahmenbündels p
DW	Distanzwert
Ä	Anzahl der gleichen Deskriptorausprägungen
U	Anzahl der ungleichen Deskriptorausprägungen
d_j	Anzahl j der Deskriptoren d pro Annahmenbündel
DW^{res}	resultierender Distanzwert je Annahmenbündelpaar
c_i	Anzahl i der gebildeten Cluster

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit

Das frühzeitige Erkennen zukünftiger technologischer und technologierelevanter Entwicklungen ist für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen in einem komplexen und dynamischen Umfeld von großer Bedeutung. Durch Technologiefrühaufklärung versuchen Unternehmen, entsprechende technologische Erfolgspotentiale zu erschließen. Hierzu wird das Unternehmensumfeld nach Informationen abgesucht, die Rückschlüsse auf die Adäquatheit der technologischen Kompetenzen des Unternehmens für den Wettbewerb mit den vorhandenen und potentiellen Konkurrenten ermöglichen. Diese Informationen sind in der Regel unvollkommen und durch Unsicherheit sowie Unschärfe charakterisiert. Experten und Entscheidungsträger formulieren ihre Aussagen über mögliche zukünftige Entwicklungen und Konsequenzen des Handelns daher im Allgemeinen durch verbale, qualitative, unscharfe Beschreibungen. Eine zweckmäßige mathematische Beschreibung dieser Sachverhalte und Zusammenhänge ist in den meisten Fällen nicht möglich. Um diese Informationen mit Hilfe von Methoden und Instrumenten zur Unterstützung der Entscheidungsfindung verarbeiten zu können, resultieren spezifische Anforderungen an die Modellierung derartiger Entscheidungssituationen. Die klassische zweiwertige Logik und stochastische Modellierungstheorien sind in diesem Zusammenhang nur bedingt geeignet. Dennoch basieren die vorhandenen Methoden und Instrumente zur Technologiefrühaufklärung auf zweiwertigen Denkansätzen und zwingen Experten und Entscheidungsträger dazu, vermeintlich genaue Angaben über zukünftige Entwicklungen anzugeben, welche die tatsächliche Informationslage aber nicht adäquat widerspiegeln.

Die Fuzzy Set Theorie stellt eine Verallgemeinerung der klassischen zweiwertigen Logik dar und ermöglicht die systematische Modellierung von unscharfen Informationen. Ausgehend von der erfolgreichen Anwendung der Fuzzy Set Theorie in der Regelungstechnik zur Regelung technischer Prozesse begannen Forschungsbemühungen, die Anwendungspotentiale der Fuzzy Set Theorie auch auf betriebswirtschaftliche Fragestellungen zu übertragen. Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag zu diesem Forschungsfeld leisten und unter-

sucht die Anwendungsmöglichkeiten der Fuzzy Set Theorie für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung. Das Ziel der Untersuchungen ist es, ein Konzept für die Integration unscharfer Informationen in die Entscheidungsprozesse der Technologiefrühaufklärung zu entwickeln, um hierdurch die Entscheidungsgrundlagen der Technologiefrühaufklärung beziehungsweise die technologische Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen zu verbessern. Hierzu müssen zunächst die Anwendungspotentiale der Fuzzy Set Theorie innerhalb der Technologiefrühaufklärung identifiziert werden. In einem nächsten Schritt sind ein geeigneter Ansatz zur Integration der Fuzzy Set Theorie in die Technologiefrühaufklärung zu entwickeln, adäquate Konzepte der Fuzzy Set Theorie zur Umsetzung auszuwählen und das Konzept den Anforderungen der Technologiefrühaufklärung entsprechend auszugestalten.

1.2 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit besteht aus 7 Teilen. Teil 1 umfasst die Hinführung zur Problemstellung sowie Erläuterungen zum Aufbau der Arbeit. Teil 2 diskutiert die Modellierungsmöglichkeiten von betriebswirtschaftlichen Planungs- und Entscheidungssituationen. In diesem Zusammenhang wird die besondere Bedeutung von unscharfen Informationen für die adäquate Modellierung von sozio-technischen Systemen herausgearbeitet. Im 3. Teil werden die Grundlagen zum Technologiemanagement vorgestellt und vertiefende Betrachtungen für die im Rahmen dieser Arbeit relevante Phase der Technologiefrühaufklärung innerhalb des Technologiemanagementprozesses vorgenommen. Daran schließen sich im 4. Teil Darstellungen zu den grundlegenden Konzepten der Fuzzy Set Theorie an, die um eine vergleichende Analyse mit dem bisher vorherrschenden wahrscheinlichkeitstheoretischen Ansatz der Darstellung von Unbestimmtheit ergänzt werden. Ein Überblick zu den Anwendungsfeldern der Fuzzy Set Theorie schließt diesen Teil ab. Im folgenden 5. Teil wird der Forschungsansatz dieser Arbeit formuliert und die Eignung der Fuzzy Set Theorie zur Modellierung der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung herausgearbeitet. Der 6. Teil beinhaltet die Entwicklung des Konzeptes für die Integration der Fuzzy Set Theorie in die Technologiefrühaufklärung. Im 7. Teil der Arbeit nimmt der Autor eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeit sowie eine kritische Würdigung des entwickelten Konzeptes vor. Hierbei wer-

den die Anwendungspotentiale und die Anwendungsgrenzen des Konzeptes dargestellt und darüber hinaus die Weiterentwicklungsmöglichkeiten für das Konzept aufgezeigt.

2 Modellierung von sozio-technischen Systemen zur methodischen Unterstützung betriebswirtschaftlicher Entscheidungen

2.1 Planungs- und entscheidungstheoretische Grundlagen

Das Unternehmensumfeld ist durch zunehmende Veränderungen, Turbulenzen und Diskontinuitäten geprägt.¹ Um diesen externen Zwängen bestmöglich begegnen und die Wettbewerbsfähigkeit aufrecht erhalten zu können, müssen sich Unternehmen intensiv mit der Beschreibung möglicher zukünftiger Situationen und der gedanklichen Vorwegnahme zukünftigen Handelns auseinandersetzen.² Die Aufgabe der Planung ist die Identifikation geeigneter Maßnahmen zur Beseitigung von Abweichungen des derzeitigen oder erwarteten Zustandes eines Systems von einem angestrebten und durch Ziele beschriebenen Zustand dieses Systems. Zur Lösungsfindung sind Entscheidungen unter Nutzung der zur Verfügung stehenden Informationen durch den Planer beziehungsweise den Entscheidungsträger zu treffen und durchzusetzen.³

Betriebswirtschaftliche Entscheidungsprobleme beinhalten in der Regel die Gestaltung komplexer realer Systeme. Die vollständige Erfassung und Beschreibung der Elemente und Beziehungen eines realen Systems in einem isomorphen⁴ Realmodell ist einerseits häufig nicht möglich, andererseits nicht immer erforderlich. Durch das Abstrahieren vom realen System werden zur Lösungsfindung nur die planungsrelevanten Elemente und Beziehungen in das Modell übertragen, wodurch die Abbildung und die Analyse der Zusammenhänge vereinfacht beziehungsweise erst möglich wird. Das Ausmaß der

¹ Vgl. Mißler-Behr (2001), S. 10

² Vgl. Schneeweiß (1991), S. 1 - 2

³ Vgl. Klein; Scholl (2011), S. 1 - 2

⁴ In einem isomorphen oder strukturgleichen Modell steht jedem Element und jeder Beziehung des Originals ein Element beziehungsweise eine Beziehung im Modell gegenüber und umgekehrt. Bleibt die Grundstruktur des Originals erhalten und werden einzelne Bestandteile des Originals zu einem einzigen Bestandteil im Modell zusammengefasst, handelt es sich um ein homomorphes oder strukturähnliches Modell (vgl. Klein; Scholl (2011), S. 32).

Abstraktion und damit die Komplexität des Modells werden durch die angestrebte Genauigkeit der Problemlösung, den realisierbaren Detaillierungsgrad der relevanten Informationen und die Verhältnismäßigkeit der Kosten für die Informationsbeschaffung bestimmt.⁵

Zur Modellierung realer Problemstellungen stehen häufig nur verbale und qualitativ beschreibbare menschliche Wahrnehmungen und Einschätzungen zur Verfügung. Existieren quantitative Informationen aus technischen Prozessen oder ökonomischen Untersuchungen, lassen sich diese vielleicht nur durch Intervalle und nicht durch reelle Zahlen ausdrücken. Diese Sachverhalte sind mit dem weit verbreiteten Bestreben der Formulierung von deterministischen Modellen schwierig zu vereinbaren und machen eine angemessene Transformation dieser Informationen in exakte Daten erforderlich. Müssen Entscheidungen unter Berücksichtigung unsicherer zukünftiger Entwicklungen getroffen werden, stellen die Prognose und die Quantifizierung von relevanten Daten für die Entscheidungsfindung weitere Herausforderungen dar. Die klassische Entscheidungstheorie greift in diesen Fällen auf mittlere Werte für Verteilungen beziehungsweise für unscharfe Größen zurück. Dieser Ansatz zur Erzeugung eines operablen Modells erweist sich als fragwürdig. Die scheinbar optimalen Lösungen dieser Modelle stellen häufig keine adäquaten Lösungen für die realen Problemstellungen dar.⁶

Eine weitere Gefahr bei der Modellbildung selbst beziehungsweise bei der Vereinfachung gegenüber dem realen System besteht in der Vernachlässigung wesentlicher Bestandteile und somit in der Fehlmodellierung des Realproblems. Aufgrund der bewussten oder unbewussten selektiven und subjektiven Wahrnehmung des Entscheidungsträgers und dem Ziel der Formulierung eines operablen Modells bleiben problemrelevante Aspekte möglicherweise

⁵ Vgl. Klein; Scholl (2011), S. 31 - 32. Schneeweiß unterscheidet in diesem Zusammenhang die Schritte der Abstraktion und Relaxation des durch Planung zu bewältigenden Realproblems. Abstraktion bezeichnet den Vorgang der reduzierten, aber hinreichend genauen Abbildung des für die Lösung des Realproblems wichtigen Realitätsausschnittes in einem Realmodell. Die weitere Vereinfachung des häufig noch zu komplexen Realmodells zu einem Formalmodell, welches üblicherweise unter Nutzung formal-mathematischer Methoden die Ermittlung akzeptabler Entscheidungen ermöglicht, wird als Relaxation bezeichnet (vgl. Schneeweiß (1992), S. 3 - 4).

⁶ Vgl. Rommelfanger; Eickemeier (2002), S. 13 - 14

unberücksichtigt.⁷ Daher ist es notwendig, die Modelle und die mit ihnen gewonnenen Entscheidungen am realen System hinsichtlich ihrer Eignung zur Lösung der Planungsaufgabe zu überprüfen.⁸

Modelle lassen sich anhand von Merkmalen unterscheiden und in Abhängigkeit der Ausprägungen dieser Merkmale in verschiedene Modellarten klassifizieren. Tabelle 1 gibt einen Überblick über mögliche Modellarten.

Tabelle 1: Modellarten

(Quelle: in Anlehnung an Klein; Scholl (2011), S. 33)

Merkmal	Modellarten
Einsatzzweck	Beschreibungs-, Erklärungs-, Kausal-, Prognose-, Simulations-, Entscheidungs-, Optimierungsmodelle
Messniveau	qualitative, quantitative Modelle
Darstellungsform	physische, formale, graphische, verbale Modelle
Bestimmtheitsgrad der Informationen	deterministische, stochastische, unscharfe Modelle
Zeitbezug	statische, dynamische Modelle
Umfang der Abbildung	Total-, Partialmodelle

Im Rahmen dieser Arbeit wird auf Entscheidungsmodelle für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung fokussiert. Entscheidungsmodelle dienen der an einer Zielfunktion orientierten Bewertung und Auswahl von Handlungsalternativen zur Beeinflussung des Verhaltens eines Systems. Dieses Systemverhalten wird anhand von erklärenden Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen unabhängigen exogenen Variablen und davon abhängigen Variablen in den Modellen abgebildet. Die zur Beschreibung der Eigenschaften des Systems notwendigen Daten und Informationen können entsprechend der Ausprägungen dieser Eigenschaften auf unterschiedlichen Skalenniveaus vorliegen.⁹ Wie im Verlauf der Ausführungen dieser Arbeit deutlich wird, ergibt sich aus den Rahmenbedingungen der Technologiefrühaufklärung an die eingesetzten Entscheidungsmodelle die Anforderung, insbesondere qualitative, verbal und unscharf formulierte Eigenschaften und Zusammenhänge eines Systems formal beziehungsweise verbal abbilden zu können.

⁷ Vgl. Rommelfanger; Eickemeier (2002), S. 10, 13

⁸ Vgl. Schneeweiß (1992), S. 5

⁹ Vgl. Klein; Scholl (2011), S. 33 - 34

2.2 Unbestimmtheit von Informationen als Herausforderung betriebswirtschaftlicher Planung und Entscheidung

Entscheidungsprobleme sind unter anderem durch die zeitliche Reichweite und die Komplexität des Problems, den Informationsbedarf zur Problemlösung, die Wirkungskdauer und die Revidierbarkeit der Problemlösung sowie das Ausmaß der Unsicherheit von Umwelteinflüssen und der Dynamik der Umwelt charakterisiert und für die Dringlichkeit, die Notwendigkeit und die Erfolgsaussichten der Planung maßgebend.¹⁰ Das Wissen, welches in Planungs- und Entscheidungsprozessen Handlungen auslöst, stützt sich auf Informationen. Diese Informationen basieren auf verarbeiteten und interpretierten Daten, haben für den Entscheider einen konkreten Bezug und subjektiven Mehrwert.¹¹ Sie können demzufolge in zweckorientiertes beziehungsweise für Entscheidungen relevantes Wissen verwandelt werden.¹² Das Entscheidungsfeld des Entscheidungsträgers umfasst die in einem bestimmten Zeitpunkt wählbaren Handlungsalternativen oder Strategien, die Zustände des Unternehmensumfeldes und die Konsequenzen der jeweiligen Handlungsalternativen bei einem bestimmten Zustand. Zur Beurteilung der Konsequenzen der Handlungsalternativen benötigt der Entscheidungsträger Informationen über den Zustand derjenigen Faktoren, welche das Handlungsergebnis beeinflussen. Die Zustände dieser Einflussfaktoren können durch die Vergangenheit, die Gegenwart oder erst durch die Zukunft bedingt sein.¹³

Viele Planungs- und Entscheidungssituationen vollziehen sich in einem Umfeld, in welchem die Ziele, die Randbedingungen und die Konsequenzen der möglichen Handlungen nicht genau bekannt sind.¹⁴ In diesen Fällen sind die den Planungs- und Entscheidungsprozessen zugrunde liegenden Informatio-

¹⁰ Vgl. Klein; Scholl (2011), S. 3

¹¹ Vgl. Gerpott (2002), S. 84 - 86 und Horvath (2009), S. 557

¹² Vgl. Wittmann (1959), S. 14. Bode (1997) diskutiert die Vielfalt der Definitionen des Informationsbegriffs in der wirtschaftswissenschaftlichen Literatur hinsichtlich ihrer Zweckmäßigkeit. Schreyögg; Geiger (2003) kritisieren die in der gegenwärtigen Debatte zum Wissensmanagement verlorengegangene Präzisierung des Wissensbegriffs und diskutieren diesen unter Rückgriff auf wissenschaftstheoretische Überlegungen.

¹³ Vgl. Bamberg; Coenenberg; Krapp (2008), S. 15, 18 - 19

¹⁴ Vgl. Bellmann; Zadeh (1970), S. 141

nen unvollkommen.¹⁵ Zur Klassifizierung von unvollkommenen Informationen finden sich in der Literatur unterschiedliche Ansätze.¹⁶ Diese Arbeit stützt sich auf die Abgrenzung von Schneeweiß¹⁷, bei der in den Planungs- und Entscheidungsprozessen genutzte Informationen nach ihrer Bestimmtheit in die Bestimmtheitsgrade Sicherheit, Unsicherheit und Unschärfe unterschieden werden. Unter dem Bestimmtheitsgrad ist die Eindeutigkeit der Zuordnung von Ausprägungen bei der Erfassung und der Beschreibung der Eigenschaften eines Zustandes zu verstehen. Sind alle Eigenschaften beziehungsweise Ausprägungen eines Zustandes bekannt, liegt der Bestimmtheitsgrad Sicherheit vor. Unsicherheit bezeichnet Bestimmtheitsgrade, bei denen Unbestimmtheit durch einen Mangel an Informationen besteht und nicht eindeutig entschieden werden kann, ob ein bestimmter Zustand eintritt oder nicht.¹⁸ Ist lediglich das Eintreten irgendeines Zustandes bekannt, wird diese Form der Unsicherheit als Ungewissheit bezeichnet. Lassen sich subjektive oder objektive¹⁹ Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten verschiedener Zustände angeben, liegt Risiko vor.²⁰ Unschärfe bezeichnet die Unbestimmtheit von Informationen durch einen Mangel an begrifflicher Schärfe.²¹ Im Unterschied zur Unsicherheit be-

¹⁵ Vgl. Wittmann (1959), S. 26

¹⁶ Beispielsweise unterscheiden Dubois und Prade zwischen Ungenauigkeit und Unsicherheit (vgl. Dubois; Prade (1988), S. 2). Kruse, Gebhardt und Klawonn sprechen von imperfekten Informationen und unterscheiden in Impräzision, Vagheit und Unsicherheit (vgl. Kruse; Gebhardt; Klawonn (1995), S. 2). Kahlert und Frank verwenden die Bezeichnung unscharfe Informationen und unterteilen in stochastische, lexikale und informale Unschärfe (vgl. Kahlert; Frank (1994), S. 7). Ben-Haim spricht von Unbestimmtheit und trennt in wahrscheinlichkeitstheoretische und nicht-wahrscheinlichkeitstheoretische Unsicherheit (vgl. Ben-Haim (1997), S. 11). Richter unterscheidet subjektive und objektive Unschärfe (vgl. Richter (1989), S. 197). Lootsma unterteilt Unsicherheit in Zufälligkeit, Vagheit, Ambiguität und Risiko (vgl. Lootsma (1997), S. 1 - 3). Biewer verwendet die Bezeichnung imperfektes Wissen und unterscheidet in unsicheres und unscharfes Wissen (vgl. Biewer (1997), S. 23).

¹⁷ Vgl. Schneeweiß (1991), S. 34 - 37.

¹⁸ Vgl. Schneeweiß (1991), S. 31, 34 - 37 und Biewer (1997), S. 23

¹⁹ Vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 4.2.1

²⁰ Vgl. Bamberg; Coenenberg; Krapp (2008), S. 19

²¹ Vgl. Schneeweiß (1991), S. 35. In der Literatur finden sich auch die Begriffe Ungenauigkeit, Vagheit, linguistische Unsicherheit, Fuzziness, Unvollständigkeit oder die dann nicht ausschließlich im entscheidungstheoretischen Sinne verwendeten Begriffe Unsicherheit und Ungewissheit zur Charakterisierung von Informationen, welche durch einen Mangel an begrifflicher Schärfe gekennzeichnet sind (vgl. Rommelfanger (1988), S. 4 und Mißler-Behr (2001), S. 25 - 26). In dieser Arbeit wird für die Unbestimmtheit durch einen Mangel an begrifflicher Schärfe ausschließlich der Begriff Unschärfe verwendet.

zieht sich Unschärfe nicht auf das Eintreten von Zuständen, sondern auf die inhaltliche Bestimmung der Zustände selbst.²² Diese Form der Unbestimmtheit resultiert aus dem menschlichen Denken und Urteilen sowie aus der sprachlichen Darstellung von menschlichem Wissen.²³ Unschärfe ist kein charakteristisches Merkmal der Dinge selbst, sondern ein charakteristisches Merkmal der Repräsentation der Dinge, beispielsweise durch die Sprache.²⁴ Durch Unschärfe wird das Verhältnis der vorhandenen Erkenntnis von Dingen zur Wirklichkeit repräsentiert, aber nicht die Wirklichkeit selbst.²⁵ Es können drei Arten von Unschärfe unterschieden werden:²⁶

- Linguistische (auch intrinsische, lexikalische) Unschärfe: Hierunter wird die Interpretationsfähigkeit von Wörtern und Sätzen der menschlichen Sprache verstanden. Die zur Beschreibung einer Situation verwendeten Ausdrücke sind inhaltlich nicht eindeutig und vom jeweiligen Zusammenhang abhängig. Formulierungen wie „angemessener Gewinn“ oder „vertretbare Kosten“ stellen keine eindeutigen Beschreibungen eines Zustandes dar und erschließen sich erst im Kontext. Häufig findet sich auch eine Kombination der linguistischen Unschärfe mit dem Risikofall der Unsicherheitssituation, beispielsweise „Ein guter Gewinn ist wahrscheinlich“.
- Informationale Unschärfe: Diese Art von Unschärfe resultiert aus der Schwierigkeit, eine große Menge von Informationen zu einem klaren Gesamturteil zu verdichten. Es liegen zwar genau definierbare Begriffe vor, allerdings sind zu ihrer umfassenden Beschreibung eine große Anzahl von Eigenschaften notwendig, die durch den Menschen nicht vollständig erfasst und verarbeitet werden können. Beispielsweise wird unter Kreditwürdigkeit die Fähigkeit verstanden, einen Kredit vereinbarungsgemäß zurückzuzahlen. Die Überprüfung des Vorliegens dieser Eigenschaft, welche von einer Vielzahl von Merkmalen beeinflusst wird, gestaltet sich aber sehr schwierig.
- Relationale Unschärfe: Bei dieser Art von Unschärfe handelt es sich um Aussagen, bei denen die gegenseitigen Abhängigkeiten der einbezogenen

²² Vgl. Spengler (1999), S. 128

²³ Vgl. Winkler (2008), S. 10

²⁴ Vgl. Russell (1923), S. 31

²⁵ Vgl. Schaff (1974), S. 223

²⁶ Vgl. Rommelfanger (1988), S. 4 - 5 und Zimmermann (1993), S. 4

Objekte keinen dichotomen Charakter besitzen. Das heißt, die Beziehungen zwischen den Objekten sind unscharf. Beispiele sind die Formulierungen „viel größer als“, „erheblich teurer als“ oder „ungefähr gleich“. Auch eine Kombination mit der linguistischen Unschärfe ist möglich, zum Beispiel: „Bei schlechter Gewinnerwartung ist die Investitionstätigkeit gering“ oder „Mitarbeiter A ist viel motivierter als Mitarbeiter B“.

Unschärfe kann häufig nicht einfach durch die Beschaffung weiterer Informationen verringert werden, da die empirische Erfassung komplexer Eigenschaften und Beziehungen im Allgemeinen größere Schwierigkeiten bereitet.²⁷ Für die menschliche Kommunikation hat die Unschärfe von Informationen in der Regel keine negativen Auswirkungen. Der Mensch ist in der Lage, die Bedeutung von Wörtern oder Sätzen aus dem jeweiligen Zusammenhang zu erkennen.²⁸ Unschärfe bietet für Situationen, in denen Präzision unangemessen ist, ein mächtiges Kommunikationswerkzeug.²⁹ Sie stellt damit keine Abschwächung von Wissen dar, sondern vielmehr eine flexiblere Art und Weise etwas zu wissen, durch die Problemstellungen zum Teil erst angemessen bewältigt werden können.³⁰ Diesem Sachverhalt will die vorliegende Arbeit Rechnung tragen, indem sie die gegebene Unschärfe in der Technologiefrühaufklärung nicht nur akzeptiert, sondern auch systematisch in die Entwicklung von Entscheidungsgrundlagen einbezieht.

In Abbildung 1 ist die in dieser Arbeit zugrunde gelegte Systematisierung nach dem Bestimmtheitsgrad der in Planungs- und Entscheidungssituationen zur Verfügung stehenden Informationen zusammenfassend dargestellt.

²⁷ Vgl. Schneeweiß (1991), S. 28 - 30, 37

²⁸ Vgl. Zimmermann (1993), S. 4

²⁹ Vgl. Schlarb (2008), S. 20 und Keefe (2000), S. 24

³⁰ Vgl. Spies (1993), S. 19

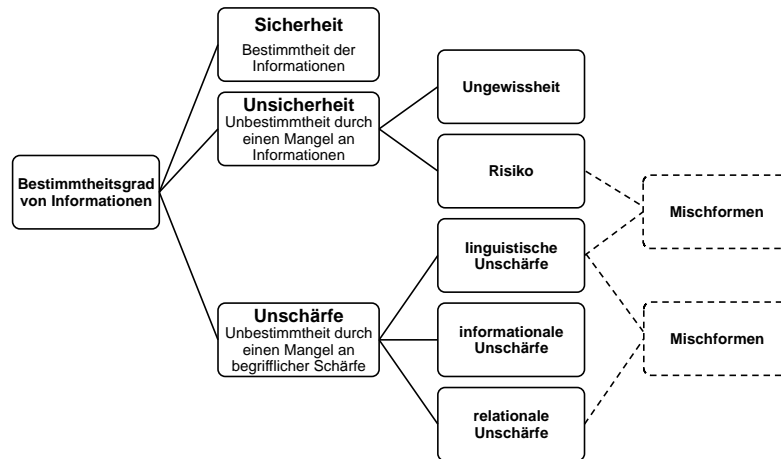


Abbildung 1: Bestimmtheitsgrad von Informationen in Entscheidungssituationen
(Quelle: Eigene Darstellung)

2.3 Theorien zur Bewältigung von Unbestimmtheit

Unbestimmtheit wurde in der Wissenschaft lange Zeit vernachlässigt. Wissenschaftliche Erkenntnisse mussten bis in die Anfänge des 19. Jahrhunderts messbar und in Zahlen ausdrückbar sein, um als solche anerkannt zu werden. Mit dem Aufkommen und der Akzeptanz der Statistischen Mechanik als berechtigtes wissenschaftliches Fachgebiet erlangte auch Unbestimmtheit zunehmend Beachtung und wurde in einigen wissenschaftlichen Fragestellungen als nützlich anerkannt.³¹ Bis heute ist die wahrscheinlichkeitstheoretische Auffassung und Präsentation von Unbestimmtheit unter Wissenschaftlern, Technikern und Philosophen vorherrschend.³² Seit der Mitte des 19. Jahrhunderts wurde erkannt, dass mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitstheorie und Statistik nicht alle Aspekte von Unbestimmtheit angemessen modelliert werden können. Aus diesem Grund wurde damit begonnen, die verschiedenen nicht-wahrscheinlichkeitstheoretischen Erscheinungsformen von Unbestimmtheit und deren Nutzen in der Wissenschaft, im Ingenieurwesen und in anderen Gebieten zu erforschen.³³ Trotz gleichzeitigen Aufkommens der Computer-

³¹ Vgl. Klir (1997), S. 27

³² Vgl. Ben-Haim (1997), S. 25. Die Anfänge der mathematischen Wahrscheinlichkeitstheorie finden sich im Jahr 1654. Ihre endgültige Ausprägung fand sie im Jahr 1933 durch A. N. Kolmogorov (vgl. Mammitzsch (1999), S. 241).

³³ Vgl. Klir (1997), S. 27

technologie in dieser Zeit und den sich daraus eröffnenden neuen methodischen Möglichkeiten im Umgang mit bisher unlösbaren komplexen Problemstellungen, sahen einige Forscher die Notwendigkeit radikal neuer Methoden, die auf grundlegend neuen Konzepten und mathematischen Theorien basieren.³⁴ Hauptsächlich auf komplexe technologische Anwendungen ausgerichtet, entstanden insbesondere in den letzten Jahrzehnten Methoden zur Quantifizierung von Unbestimmtheit, die nicht auf der Wahrscheinlichkeitstheorie begründet sind.³⁵

Unsicherheit und Unschärfe sind als nicht vermeidbarer Teil der Umwelt und Realität zu begreifen.³⁶ Unbestimmtheit ist eine von der Situation abhängige Eigenschaft von Systemen oder Phänomenen, die vielfältige Gründe haben kann und zudem von den vorhandenen und erforderlichen Informationen beeinflusst wird. Der Informationsfluss vom zu beschreibenden System beziehungsweise Phänomen über die zur Beschreibung eingesetzte Theorie bis zum Betrachter sollte insbesondere in Bezug auf die Qualität und Quantität der Informationen ein konsistentes System ergeben.³⁷ Zur Modellierung von Unbestimmtheit existieren verschiedene Theorien, zum Beispiel diverse Wahrscheinlichkeitstheorien³⁸, die Möglichkeitstheorie³⁹, die Evidenztheorie⁴⁰, die Fuzzy Set Theorie⁴¹, die Grey Set Theorie⁴², die Intuitionistic Set Theorie⁴³, die Rough Set Theorie⁴⁴, das Degree of Surprise Concept⁴⁵, die Intervallarithme-

³⁴ Vgl. Klir (1997), S. 28

³⁵ Vgl. Ben-Haim (1997), S. 11

³⁶ Vgl. Zimmermann (1993), S. V - VI

³⁷ Vgl. Zimmermann (2000), S. 197

³⁸ Beispielsweise die Wahrscheinlichkeitstheorien nach Kolmogoroff, Koopman, Bayes oder die qualitativen Wahrscheinlichkeiten (vgl. Zimmermann (1999), S. 299 und die Ausführungen hierzu in Kapitel 4.2.1).

³⁹ Dubois; Prade (1988)

⁴⁰ Shafer (1976)

⁴¹ Zadeh (1965a)

⁴² Deng (1989)

⁴³ Atanassov (1986)

⁴⁴ Pawlak (1982)

⁴⁵ Shackle (1969)

tik⁴⁶ oder das konvexe Modellieren⁴⁷. Diese Theorien sind in ihren Eigenschaften nicht überschneidungsfrei oder in einigen Fällen in anderen Theorien enthalten. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Annahmen über die Menge und die Qualität der zur Verfügung stehenden Eingangsinformationen und der Verarbeitungsweisen der Informationen. Die meisten der Theorien definieren ihr Anwendungsgebiet ausdrücklich oder indirekt durch axiomatische Systeme.⁴⁸ Keine der existierenden Theorien kann für sich in Anspruch nehmen, alle Arten von Unbestimmtheit angemessen zu modellieren. Dementsprechend sollte die Auswahl einer Theorie zur Modellierung einer spezifischen Unbestimmtheitssituation kontextabhängig erfolgen.⁴⁹ Innerhalb der Ausführungen dieser Arbeit wird herausgearbeitet, dass der Einsatz der Fuzzy Set Theorie zur Modellierung von Entscheidungssituationen in der Technologiefrühaufklärung und die Verarbeitung der hierbei gegebenen Unbestimmtheit im Vergleich mit anderen Unbestimmtheitstheorien vorteilhaft ist.

2.4 Identifikation einer unbestimmtheitssituationsadäquaten Modellierungstheorie

Eine Vielzahl der anerkannten Theorien zur Modellierung von Unbestimmtheit ist auf einzelne Ursachen der Unbestimmtheit fokussiert. Dennoch erfolgt die Modellierung einer Unbestimmtheitssituation häufig unabhängig von den Eigenschaften des realen Problems durch dessen Anpassung an die zur Modellierung eingesetzte Theorie anstatt die Theorie anhand der Charakteristik des Realproblems auszuwählen.⁵⁰ Die Identifikation einer geeigneten Theorie zur bestmöglichen Modellierung einer bestimmten Unbestimmtheitssituation ist von verschiedenen Kriterien abhängig:⁵¹

⁴⁶ Moore (1966)

⁴⁷ Ben-Haim; Elishakoff (1990)

⁴⁸ Vgl. Zimmermann (1999), S. 297 - 299

⁴⁹ Vgl. Zimmermann (2000), S. 197

⁵⁰ Vgl. Zimmermann (1997), S. 90

⁵¹ Vgl. hierzu und im Folgenden Zimmermann (1999), S. 289. Zimmermann schränkt ein, dass mit diesem Klassifikationsschema kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben wird und die Klassen selbst nicht immer überschneidungsfrei sind (ebenda, S. 290).

- den Gründen der Unbestimmtheit⁵²,
- den Ausprägungen der verfügbaren Informationen bezüglich Art, Menge und Qualität,
- der Art der Informationsverarbeitung beziehungsweise der mathematischen Operatoren, die eine Theorie verwendet,
- dem Ziel der Modellierung und in diesem Zusammenhang dem vom Empfänger geforderten Ausgabeformat der durch die Theorie zur Verfügung gestellten Informationen.

Die Gründe der Unbestimmtheit bedingen in der Regel die Menge und die Qualität der verfügbaren Informationen und wirken ebenfalls auf den Informationsfluss zwischen dem abzubildenden System und der zur Modellierung eingesetzten Theorie. In Abhängigkeit davon, ob die Informationen in numerischer, linguistischer, intervallwertiger oder symbolischer Form vorliegen, sollten die in den Theorien verfügbaren mathematischen Operatoren und deren Anforderungen an die Skalenniveaus sowohl der Eingangsinformationen als auch der Ausgangsinformationen bei der Auswahl einer geeigneten Theorie zur Modellierung einer spezifischen Unbestimmtheitssituation Berücksichtigung finden.⁵³ Aus den benannten Kriterien kann ein Klassifikationsschema abgeleitet werden, dessen Dimensionen zur Beschreibung der Unbestimmtheitssituationen und der Unbestimmtheitstheorien herangezogen werden können. Anhand der Übereinstimmungen der Profile in den Dimensionen ergibt sich die für eine spezifische Unbestimmtheitssituation am besten geeignete Theorie.⁵⁴ Tabelle 2 zeigt dieses Klassifikationsschema.

⁵² Vgl. die Systematisierung nach dem Bestimmtheitsgrad von Informationen in Abbildung 1. Zimmermann differenziert weiter und nennt Informationsmangel, Informationsüberfluss, konfliktäre Evidenz, Mehrdeutigkeit, Messunsicherheit und Glauben als mögliche Gründe für die Unbestimmtheit (vgl. Zimmermann (1999), S. 290 - 293). Die von Zimmermann benannten Gründe lassen sich unter den in Kapitel 2.2 zugrunde gelegten Bestimmtheitsgraden von Informationen subsumieren.

⁵³ Vgl. Zimmermann (2000), S. 194 - 196

⁵⁴ Vgl. Zimmermann (2000), S. 197 und Zimmermann (1997), S. 92. Anhand dieses Klassifikationsschemas wird in Kapitel 5.2.3 die Eignung der Fuzzy Set Theorie und gebräuchlicher anderer Unsicherheitstheorien für die Fragestellung des Technologiemanagements validiert.

Tabelle 2: Schema zur Klassifikation von Unbestimmtheitsituationen und -theorien
(Quelle: in Anlehnung an Zimmermann (1997), S. 92)

Kriterium	Dimension		
Grund der Unbestimmtheit	Unsicherheit (Risiko)	Unsicherheit (Ungewissheit)	linguistische Unschärfe
	informationale Unschärfe	relationale Unschärfe	Mischformen
Verfügbare Eingangsinformationen	numerisch		intervallwertig
	linguistisch		symbolisch
Skalenniveau numerischer Eingangsinformation	nominal	ordinal	kardinal
Informationsverarbeitung	algorithmisch	wissensbasiert	heuristisch
Erforderliche Ausgangsinformationen	numerisch		intervallwertig
	linguistisch		symbolisch

2.5 Die Bedeutung von Unschärfe zur adäquaten Modellierung von sozio-technischen Systemen

Viele der in der Vergangenheit eingesetzten Techniken zur Analyse von ökonomischen und sozialen Systemen sind Adaptierungen von Methoden zur Auseinandersetzung mit Systemen, welche im Wesentlichen durch die Gesetze der Mechanik, des Elektromagnetismus und der Thermodynamik beherrscht werden. Der bemerkenswerte Erfolg der Methoden führte zu dem Glauben, dass diese mit vergleichbarer Effektivität zur Analyse sozio-technischer Systeme eingesetzt werden könnten. Gleichzeitig steigerte die zunehmende Effektivität der Computersimulationstechniken zur Analyse physikalischer Systeme die Beliebtheit des Einsatzes computerbasierter ökonometrischer Modelle für Voraussagen, volkswirtschaftliche Planungen und Managementzwecke. Ein wesentliches Merkmal sozio-technischer Systeme ist aber gerade das schwer vorhersagbare Verhalten der Systemelemente und des gesamten Systems. Damit verbunden ist die Problematik, das Verhalten sozio-technischer Systeme überhaupt quantitativ, analog zu den mechanistischen Systemen, in Form von Differential- und Integralgleichungen beschreiben zu können.⁵⁵ Die häufig hochkomplexen Problemstellungen in sozio-technischen Systemen machen eine präzise Modellierung und sichere Voraussage von zu-

⁵⁵ Vgl. Zadeh (1973), S. 28

künftigen Entwicklungen in den meisten Fällen unmöglich und erfordern Vereinfachungen beziehungsweise andere Herangehensweisen.⁵⁶

Zadeh beschreibt den Zusammenhang zwischen hoher Präzision und hoher Komplexität in einem Inkompatibilitätsprinzip. Hiernach verringert sich die Fähigkeit, präzise und essenzielle Aussagen über das Verhalten eines Systems zu machen umso mehr, je mehr die Komplexität des Systems wächst. Ab einem bestimmten Punkt schließen sich Präzision und Signifikanz schließlich nahezu völlig gegenseitig aus. Die Lösung eines Problems wird umso unschärfer, je genauer ein Problem der realen Welt betrachtet wird.⁵⁷ Die konventionellen präzisen Methoden der Systemanalyse und der Computersimulation erweisen sich als außerstande, die große Komplexität menschlicher Denk- und Entscheidungsprozesse zu bewältigen und bedeutsame Aussagen über das Verhalten sozio-technischer Systeme zu machen.⁵⁸

Ein analoger Zusammenhang kann im Sinne einer Kompensationsbeziehung auch zwischen Unsicherheit und Unschärfe festgestellt werden. Unschärfe erzwingt nicht das Setzen von Grenzen, für deren präzise Bestimmung und Begründung das notwendige Wissen fehlt. Je unschärfer ein Problem definiert ist, umso wahrscheinlicher gelingt im Allgemeinen dessen robuste Modellierung.⁵⁹ Einerseits ist Unschärfe ein Grundphänomen jedes Systems sprachlicher Repräsentation.⁶⁰ Die Produktion einer verbalen Äußerung ist ein komplexer Prozess, bei dem durch den Rückgriff auf aktuelles und gespeichertes Wissen die Äußerung inhaltlich festgelegt und anschließend der Inhalt in eine sprachliche Struktur umgewandelt wird.⁶¹ Allerdings erfordert die genaue inhaltliche Beschreibung eines Begriffes das Bewusstsein für alle grundsätzlich möglichen sprachlichen Bedeutungsstrukturen dieses Begriffes. Die Unkenntnis über die Vielzahl dieser Bedeutungsstrukturen führt zur Bildung unscharfer Informatio-

⁵⁶ Vgl. Biewer (1997), S. 25, 28

⁵⁷ Vgl. Zadeh (1973), S. 28

⁵⁸ Vgl. Zadeh (1975a), S. 201

⁵⁹ Vgl. Biewer (1997), S. 28 - 29

⁶⁰ Vgl. Russell (1923), S. 89

⁶¹ Vgl. Busemann (1993), S. 8, 11. Ein detailliertes Sprachverarbeitungsmodell wurde von Levelt entwickelt, welches aus 3 Hauptprozessen besteht: Konzeptualisierung, Formulierung und Artikulierung (vgl. Levelt (1989), S. 25).

nen.⁶² Andererseits ist die natürliche Sprache der Ausgangspunkt für die Entwicklung und Formalisierung abstrakter Konzepte und Ideen. Deren Aussagen wären bedeutungslos, wenn diese sich nicht mindestens auf theoretische Weise in natürlicher Sprache darstellen ließen. Allerdings können starre und komplexe mathematische Ausdrücke diese Konzepte nur eingeschränkter beschreiben, als es die natürliche Sprache kann und die ihr inhärente Unschärfe nicht angemessen erfassen.⁶³ Unschärfe kann erkenntnisfördernd wirken und der adäquate Ausdruck unvollkommenen Wissens sein.⁶⁴ Erst durch die Akzeptanz von Methoden mit annäherndem Charakter wird eine aussagekräftige Analyse der für die Anwendung konventioneller quantitativer Methoden zu komplexen oder zu ungenau bestimmten Systeme möglich.⁶⁵

Vester veranschaulicht in einem Beispiel zur Mustererkennung beeindruckend das Potential von Unschärfe. Ein zunächst unscharf erscheinendes Bild aus unterschiedlich hellen Quadraten zeigt einen menschlichen Kopf. Allerdings lässt sich auch mit Hilfe einer akribisch betriebenen Analyse der Details, wie die Anzahl und die Größe der Quadrate sowie die Abstufungen der Grauwerte, nicht erkennen, wessen Gesichtszüge sich hinter der Unschärfe des Bildes verbergen. Die Analyse des Systems erfolgt in diesem Fall mit der falschen wissenschaftlichen Methode. Es genügt nicht, nur die Details des Systems zu erfassen. Werden die Trennlinien der Quadrate durch die Betrachtung des Bildes aus einer größeren Entfernung unscharf, treten die Beziehungen zwischen den Details in den Vordergrund und die Funktionen der einzelnen Komponenten des Systems, wie Augen oder Mund, werden erkennbar. Fehlende Teile der wahrgenommenen Wirklichkeit werden vom Gehirn ergänzt. Durch die Konzentration auf die Systemzusammenhänge ist zur Beschreibung des Systems nur noch ein Bruchteil der Informationen erforderlich. Aus waagerechten und senkrechten Linien sowie Graustufenwertsprüngen werden Kurven und Flächenverhältnisse, welche die Gesichtszüge von Abraham Lincoln wiedergeben.⁶⁶ Abbildung 2 zeigt dieses Bild.

⁶² Vgl. Zimmermann (1992), S. 343 - 344

⁶³ Vgl. Goodman; Nguyen (1985), S. 5, 13

⁶⁴ Vgl. Biewer (1997), S. 17

⁶⁵ Vgl. Zadeh (1975a), S. 201

⁶⁶ Vgl. Vester (2005), S. 54 - 55

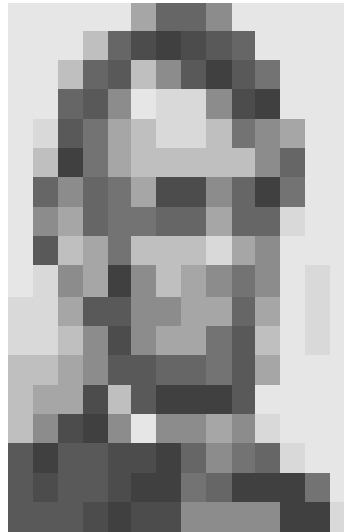


Abbildung 2: Das Potential von Unschärfe am Beispiel der Mustererkennung
(Quelle: Vester (2005), S. 54)

Das Beispiel zeigt, dass durch die Erfassung unscharfer Informationen und die Konzentration auf wenige Systemparameter komplexe Systeme abgebildet werden können. In der Realität erweisen sich die meisten Beziehungen zwischen zwei Variablen als nicht-linear und nicht mathematisierbar. Nur durch die Berücksichtigung qualitativer, nicht messbarer Größen bei der Modellierung realer Systeme kann die tatsächliche Abbildung der Wirklichkeit gelingen.⁶⁷ Die genaue Voraussage der Entwicklung komplexer Systeme erweist sich als Wunschdenken. Innerhalb eines begrenzten Zeithorizontes, beispielsweise in Wachstumsphasen, sind auch in komplexen Systemen Prognosen möglich. Diese täuschen dem Unkundigen aber eine deterministische Entwicklung vor. Die Berücksichtigung von Unschärfe garantiert im Gegensatz zu präzisen Modellen, welche auch bei falschen Annahmen noch präzise erscheinen, dass gegebenenfalls weniger exakte, dafür aber niemals falsche Konzepte der Realität abgebildet werden.⁶⁸

Für den Erfolg der Modellierung ist die Wahl einer der Problemstellung und der Zielsetzung adäquaten Präzision und Sprache entscheidend.⁶⁹ Der Wissensstand erlaubt oftmals keine präzisen Aussagen. Werden in diesen Fällen den-

⁶⁷ Vgl. Vester (2005), S. 181, 257

⁶⁸ Vgl. Vester (2005), S. 256 - 257

⁶⁹ Vgl. Schaff (1974), S. 242

noch präzise Aussagen formuliert, entsteht der Eindruck exakt bekannter Wirkungszusammenhänge. Der tatsächliche Wissensstand wird aber ungenauer widerspiegelt als durch unscharfe Aussagen. Unscharfes Wissen kann den Anforderungen einer konkreten Problemstellung vollkommen genügen beziehungsweise durch die Vereinfachung von Zusammenhängen und durch die Reduktion von Komplexität eine Problemlösung erst möglich machen. Auf der anderen Seite kann Unschärfe in der Sprache auch Ursache für viele Trugschlüsse sein und unscharfe Formulierungen dazu genutzt werden, um Unwissenheit und mangelnde Denkschärfe zu überspielen oder bekannte Informationen geheim zu halten.⁷⁰

Im Rahmen dieser Arbeit wird Unschärfe als charakteristisches Merkmal für die Planungs- und Entscheidungssituationen in sozio-technischen Systemen betrachtet. In diesem Zusammenhang richtet die Arbeit ihr Interesse auf die Fragestellungen des Managements von Technologien in Unternehmen und die hierbei zu bewältigenden Planungs- und Entscheidungsaufgaben innerhalb der Technologiefrühaufklärung. Die theoretischen Grundlagen zum Technologiemanagement und im Speziellen zur Technologiefrühaufklärung werden im Folgenden herausgearbeitet.

⁷⁰ Vgl. Biewer (1997), S. 16 - 18

3 Management von Technologien

3.1 Relevanz des Technologiemanagements

Technologien beeinflussen den Wandel der Technik und darüber den Wandel von Wirtschaft und Gesellschaft.⁷¹ Das unternehmerische Umfeld ist durch einen permanenten technischen Fortschritt gekennzeichnet, für den die exponentielle Zunahme an wissenschaftlichen Entdeckungen und neuem technologischen Wissen ursächlich ist. Die weltweite Erhöhung der Investitionen von Unternehmen in die wissenschaftliche und technologische Basis wird durch fortschreitende Globalisierungsprozesse notwendig, um im intensivierten Wettbewerb den steigenden Anforderungen der Kunden mit ständig neuen Produkten und Dienstleistungen gerecht werden zu können.⁷²

Als einer der Haupttreiber des Wettbewerbs kann technischer Wandel Branchenstrukturen verändern oder neue Branchen hervorbringen und die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen entscheidend beeinflussen.⁷³ Mit neuen Technologien können neue Märkte erschlossen und auf bestehenden Märkten Differenzierungs- und Kostenvorteile gegenüber der Konkurrenz generiert werden.⁷⁴ In vielen Branchen finden sich Technologien als zentrales Element von Unternehmensstrategien wieder.⁷⁵ Aus der Bedeutung der Technologien für die Sicherung und den Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen ergibt sich die Notwendigkeit eines effektiven und effizienten Managements von Technologien.

Diesen Anforderungen will die vorliegende Arbeit Rechnung tragen. Durch die methodische Weiterentwicklung der Technologiefrühaufklärung sollen die Entscheidungsgrundlagen für das zielgerichtete Management von Technologien verbessert werden. Die nachfolgenden Ausführungen stellen die hierzu erforder-

⁷¹ Vgl. Spur (1998), S. 83

⁷² Vgl. Gerybadze (2004), S. 3

⁷³ Vgl. Porter (1985), S. 60

⁷⁴ Vgl. Gerpott (2005), S. 1

⁷⁵ Vgl. Feldmann (2007), S. 2

derlichen theoretischen Grundlagen des Technologiemanagements dar. Der für diese Arbeit wesentliche Begriff der Technologie wird definiert, das Technologiemanagement in den wissenschaftlichen Zusammenhang eingeordnet und dessen Inhalte und Aufgaben dargestellt. Da die weiteren Ausführungen der Arbeit zum Technologiemanagement auf die Technologiefrühaufklärung fokussieren, schließen sich vertiefende Betrachtungen zu den notwendigen theoretischen Grundlagen der Technologiefrühaufklärung an.

3.2 Der Technologiebegriff

Der Begriff Technologie wird in der Literatur unterschiedlich weit ausgelegt. In der deutschsprachigen Fachliteratur⁷⁶ findet sich vorwiegend eine engere Begriffsfassung, bei der eine semantische Trennung der Begriffe Technologie und Technik vorgenommen wird.⁷⁷ In diesem Zusammenhang sind Technologien als naturwissenschaftlich-technisches Wissen über Wirkungszusammenhänge zur Lösung technischer Probleme in Produkten und Verfahren zu verstehen.⁷⁸ Technologien verkörpern Ziel-Mittel-Beziehungen und basieren ihrerseits auf Theorien, welche generelle Ursache-Wirkungs-Beziehungen erklären.⁷⁹ Der Begriff Technik steht für die praktische Anwendung von Technologien, also die materiellen Ergebnisse des Problemlösungsprozesses.⁸⁰ Die

⁷⁶ Vgl. beispielsweise Brockhoff (1999), S. 27, Bullinger (1994), S. 33 - 34, Bürgel; Haller; Binder (1996), S. 13, Specht; Beckmann; Amelingmeyer (2002), S. 12 - 13, Wolfrum (1994), S. 4 und Zahn (1995), S. 4 - 5

⁷⁷ Vgl. Gerpott (2005), S. 17

⁷⁸ Vgl. Zörgiebel (1983), S. 11. In einer noch allgemeineren Form wird unter technologischem Wissen die Gesamtheit der Ziel-Mittel-Beziehungen, unabhängig von ihrer geistes- oder naturwissenschaftlichen Herkunft und ihrer Anwendung in sozialen oder technischen Systemen, verstanden (vgl. Schröder (1996), S. 1995).

⁷⁹ Die technologische (instrumental, final, teleologisch, praxeologisch) Umformung theoretischer Aussagen erfolgt durch die gezielte Herbeiführung beeinflussbarer Ursachen als Mittel, um durch die eintretenden Wirkungen angestrebte Ziele vollständig oder teilweise zu realisieren (vgl. Chmielewicz (1979), S. 11). Die Entwicklung von Theorien erfolgt für die unterschiedlichsten wissenschaftlichen Fragestellungen und führt zu einer entsprechenden Vielfalt und Heterogenität der auf diesen Theorien basierenden Technologien. Die Betrachtungen dieser Arbeit fokussieren auf naturwissenschaftlich-technische Fragestellungen der Nutzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse in technischen Problemlösungen sowie technisch-ökonomische Fragestellungen der Umwandlung technischer Problemlösungen in unternehmerischen Erfolg (vgl. Ewald (1989), S. 31 - 32).

⁸⁰ Vgl. Zörgiebel (1983), S. 11 und Ewald (1989), S. 33

vorwiegend in der englischsprachigen Fachliteratur⁸¹ vorzufindende breitere Fassung des Begriffs Technologie beinhaltet auch die Technik, in der sich die Technologie niederschlägt⁸² und bezeichnet das theoretische und praktische Wissen, Fähigkeiten und Artefakte, welche zur Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen sowie der dazugehörigen Prozesse genutzt werden können.⁸³ Aus diesem Verständnis resultiert ein Technologiebegriff, der unterschiedliche Konkretisierungsgrade zwischen Wissen und Technik umfasst.⁸⁴ Für diese weite Begriffsfassung, welche auch dieser Arbeit zugrunde gelegt wird, sprechen die Übereinstimmung mit der vorherrschenden Verwendung des Begriffs in der betrieblichen Praxis, die ganzheitliche Gestaltbarkeit technisch-wissenschaftlicher Aktivitäten in Unternehmen, der Mangel an operationalisierbaren Kriterien zur exakten Bestimmung des in den meisten Fällen fließenden Übergangs von einer technologischen Lösung in eine technische Lösung⁸⁵ und die Vermeidung einer häufig nur künstlichen Trennung zwischen technologischem Wissen und seiner technischen Ausgestaltung, da Unternehmen Technologien letztlich immer unter dem Aspekt der Umwandlung in ökonomischen Erfolg, das heißt in verkaufsfähige beziehungsweise nutzbare Technik, betrachten.⁸⁶

Technologien und Technik gehen aus Forschungs- und Entwicklungsprozessen hervor.⁸⁷ Theorien, Technologien und Technik können durch ihre wechselseitigen Wirkungen jeweils Ausgangspunkt für die Änderung von Theorien,

⁸¹ Vgl. beispielsweise Binder; Kantowsky (1996), S. 92, Burgelman; Christensen; Wheelwright (2009), S. 2, Dussauge; Hart; Ramanantsoa (1992), S. 5 - 14 und Lowe (1995), S. 9

⁸² Das Anti-Blockier-System eines Fahrzeugs wäre hiernach eine Technologie, die unter anderem auf den Wissenschaftsfeldern der Physik und der Elektrotechnik basiert (vgl. Dussauge; Hart; Ramanantsoa (1992), S. 14).

⁸³ Vgl. Burgelman; Christensen; Wheelwright (2009), S. 2

⁸⁴ Vgl. Speith (2008), S. 2

⁸⁵ Gerpott führt als Beispiel einen Anti-Blockier-System-Prototypen an, für den im Einzelfall schwierig zu klären ist, inwieweit es sich bei diesem Prototyp bereits um eine Technik handelt, wenn dieser noch nicht fahrzeugmodellspezifisch angepasst entwickelt wurde (vgl. Gerpott (2005), S. 19).

⁸⁶ Vgl. Schröder (1996), S. 1995 - 1996 und Gerpott (2005), S. 17 - 19

⁸⁷ Vgl. Ewald (1989), S. 33

Technologien und Technik sein.⁸⁸ Abbildung 3 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Technologieentwicklung und Technikentstehung.

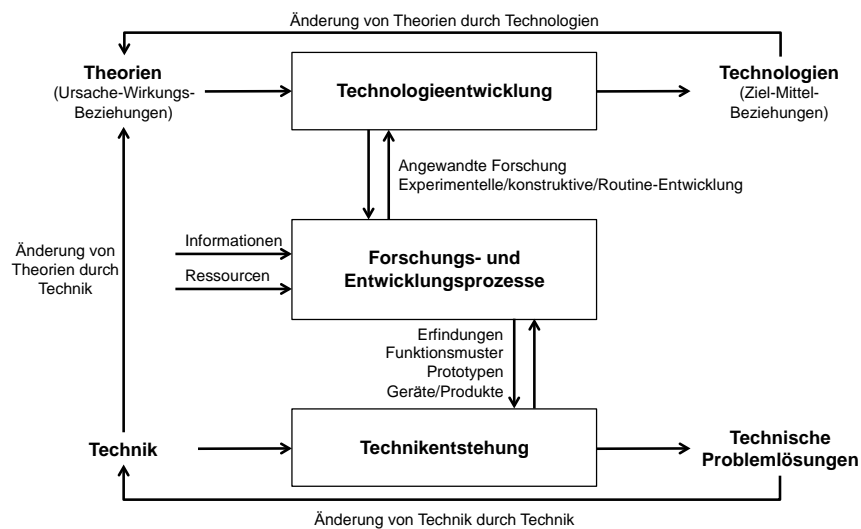


Abbildung 3: Zusammenhang von Technologieentwicklung und Technikentstehung
(Quelle: in Anlehnung an Ewald (1989), S. 34)

Die in Forschungs- und Entwicklungsprozessen generierten Technologien beziehungsweise technischen Problemlösungen sind eng mit den Begriffen Invention und Innovation verbunden. Inventionen bezeichnen die erstmalige technische Realisierung neuartiger oder neuartig kombinierter bestehender wissenschaftlicher Erkenntnisse. Innovationen unterscheiden sich von Inventionen durch die erstmalige marktwirtschaftliche Verwertung oder die innerbetriebliche Anwendung dieser Forschungs- und Entwicklungsergebnisse. Die Neuartigkeit von Inventionen beziehungsweise Innovationen bezieht sich hierbei auf eine subjektiv empfundene, bisher nicht bekannte Form der Verknüpfung von Zielen und Mitteln.⁸⁹

Zur Charakterisierung von Technologien kann eine Systematisierung anhand verschiedener Kriterien vorgenommen werden. Tabelle 3 zeigt und beschreibt verschiedene Technologiearten.⁹⁰

⁸⁸ Vgl. Brockhoff (1999), S. 27

⁸⁹ Vgl. Hauschildt; Salomo (2011), S. 5. Zur weiterführenden Diskussion von Definitionen des Begriffs Innovation wird auf die Literatur verwiesen (vgl. beispielsweise Corsten; Gössinger; Schneider (2006), S. 10 - 37, Gerpott (2005), S. 37 - 54 und Hauschildt; Salomo (2011), S. 3 - 23 sowie die jeweils dort angegebene Literatur).

⁹⁰ Vgl. beispielsweise Gerpott (2005), S. 26 - 27, Zahn (1995), S. 8 und Wolfrum (1994), S. 4 - 5

Tabelle 3: Klassifizierung von Technologiearten

(Quelle: in Anlehnung an Gerpott (2005), S. 26 - 27)

Kriterium	Technologiearten		
Wettbewerbspotential	Schrittmachertechnologie (frühes Entwicklungsstadium, großes Weiterentwicklungspotential, vage definierte Anwendungsfelder)	Schlüsseltechnologie (Stadium von konkreten Produkt- und Prozessinnovationen, Weiterentwicklungs- und Marktdifferenzierungspotential)	Basistechnologie (Wachstumsphase überschritten, von allen Wettbewerbern beherrscht, ausgereift, kaum Wettbewerbsvorteile erzielbar)
Einsatzgebiet	Produkttechnologie (in der verkauften Leistung enthalten)		Prozesstechnologie (zur Leistungserstellung genutzt, aber nicht direkt in der Leistung enthalten)
Anwendungsbreite	Querschnittstechnologie (breites Spektrum von Anwendungsgebieten, häufig Basis für andere Technologien, Diversifikationspotential)		anwendungsspezifische Technologie (auf einzelne Anwendungsgebiete beschränkt, für den Aufbau dauerhafter Wettbewerbsvorteile geeignet)
Technologiestruktur	Einzeltechnologie (von anderen Technologien isolierter Einsatz einer Technologie)		Systemtechnologie (integriertes Bündel mehrerer Technologien, hohe Anforderungen an Technologiekompetenz der anwendenden Unternehmen)
Interdependenz	Komplementärtechnologie (gegenseitige Ergänzung der Technologien bei der Entwicklung von Problemlösungen)		Konkurrenztechnologie (auf unterschiedlichen Lösungsansätzen basierende vergleichbare Lösungen)

3.3 Abgrenzung des Forschungsfeldes Technologiemanagement

Wie im vorangegangenen Abschnitt gezeigt wurde, besteht ein enger Zusammenhang zwischen den Begriffen Technologie, Forschung und Entwicklung sowie Innovation. Das Management von Technologien, Forschung und Entwicklung sowie Innovationen umfasst sowohl gemeinsame Aufgabenfelder als auch Aktivitäten, welche nicht Bestandteil des jeweils anderen Managementfeldes sind. Das Forschungs- und Entwicklungsmanagement kann als Bindeglied zwischen dem Technologiemanagement und dem Innovationsmanagement verstanden werden. Die betrieblichen Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sind Teil von betriebswirtschaftlichen Innovationsprozessen und bringen technologische Innovationen hervor. Die Neuheit von Technologien in Produkten oder Verfahren eines Unternehmens stellt das verbindende Element des Managements von Forschung und Entwicklung, Technologien und Innovationen dar.⁹¹ Neben der Fragestellung, welche neuen Technologien unternehmensintern entwickelt werden sollen, beschäftigt sich das Technologiemanagement darüber hinaus mit den Fragestellungen der externen Beschaffung von Technologien sowie der internen Nutzung und dem Verkauf von

⁹¹ Vgl. Gerpott (2005), S. 54 - 56

Technologien.⁹² Das Technologiemanagement betrachtet den gesamten Lebenszyklus von Technologien in Unternehmen von deren Entstehung beziehungsweise Einsatz bis zur Substitution durch andere Technologien.⁹³ Das Innovationsmanagement beinhaltet neben technologischen Produkt- oder Verfahrensinnovationen auch organisatorische Innovationen innerhalb des Unternehmens, beispielsweise in Form von Strukturen, Kulturen und Systemen sowie soziale Innovationen, beispielsweise in Form von Verbesserungen des Arbeits- und Gesundheitsschutzes oder neuen Formen der Arbeitszeitgestaltung.⁹⁴ Abbildung 4 veranschaulicht die inhaltlichen Überschneidungen und Unterschiede der beschriebenen Managementfelder.

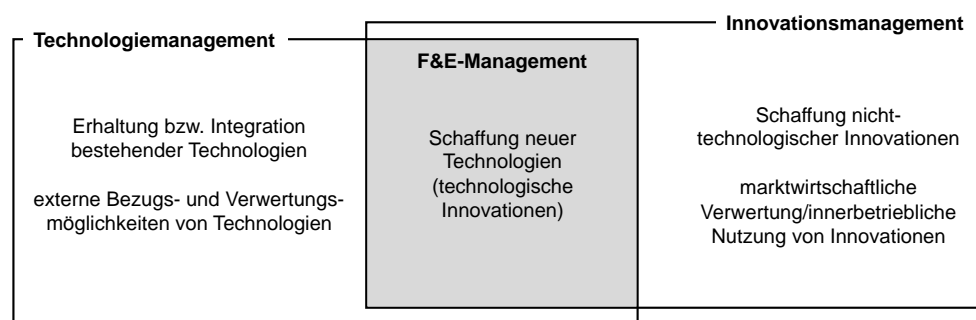


Abbildung 4: Abgrenzung von Technologie-, F&E- und Innovationsmanagement
(Quelle: in Anlehnung an Corsten; Gössinger; Schneider (2006), S. 41)

Innerhalb des Managements von Technologien, Forschung und Entwicklung sowie Innovationen erweist sich Wissen als Kernkompetenz für Unternehmen. Das Management von Wissen kann als Sammlung, Strukturierung und Weiterentwicklung des für Unternehmen relevanten Wissens angesehen werden. Hierbei kann zwischen explizitem und implizitem sowie individuellem und kollektivem Wissen differenziert werden. Explizites Wissen ist in Zahlen und Wörtern ausdrückbar und lässt sich dokumentieren. Implizites Wissen, auch als verborgenes Wissen bezeichnet, geht aus Erfahrungen und Intuition hervor und ist durch seinen informalen und unsystematischen Charakter schwierig zu artikulieren und zu transferieren. Kollektives Wissen setzt sich aus dem expliziten und impliziten Wissen der Mitarbeiter eines Unternehmens zusammen und geht über die Summe des individuellen personengebundenen Wissens

⁹² Vgl. Tschirky (1998a), S. 296 - 297

⁹³ Vgl. Qian (2002), S. 38

⁹⁴ Vgl. Pleschak; Sabisch (1996), S. 22 - 23

durch Vernetzung des Wissens hinaus. Aufgabe des Wissensmanagements ist der Aufbau einer expliziten Wissensbasis von hoher Verfügbarkeit und Transparenz durch Zusammenführung der unterschiedlichen Wissensarten, um der Bedeutung des Wissens als Ausgangspunkt für Wettbewerbsvorteile nachzukommen.⁹⁵ Das Management von Wissen, welches auf technologisches Wissen oder Wissen über technologierelevante Veränderungen der Unternehmensumwelt fokussiert, kann als Bestandteil des Technologiemanagements aufgefasst werden.

3.4 Inhalte und Aufgaben des Technologiemanagements

Mit neuen Technologien oder technologierelevanten Veränderungen der Unternehmensumwelt verbundene Chancen und Risiken für die Wettbewerbsposition eines Unternehmens müssen frühzeitig erkannt und technologische Kompetenzen und Technologiestrategien entsprechend angepasst werden.⁹⁶ Das Technologiemanagement beinhaltet die Planung, Organisation, Führung und Kontrolle von Unternehmensprozessen, welche auf die Schaffung, Speicherung und Verwertung von Technologien ausgerichtet sind.⁹⁷ Die generelle Aufgabe des Technologiemanagements besteht im systematischen Aufbau einer Technologiebasis durch Anstoßung unternehmensinterner Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten oder die externe Beschaffung von Technologien⁹⁸ sowie in der gezielten Verwertung⁹⁹ der Technologien in konkreten Anwendungen.¹⁰⁰

⁹⁵ Vgl. Perl (2007), S. 27 - 28 und Feldmann (2007), S. 53 - 57 sowie die dort angegebene Literatur

⁹⁶ Vgl. Koller (2002), S. 344 - 345

⁹⁷ Vgl. Brockhoff (1999), S. 70. Eine Diskussion unterschiedlicher Ansätze des Technologiemanagements führt beispielsweise Tschirky (vgl. Tschirky (1998a), S. 194 - 212).

⁹⁸ Zu den Möglichkeiten der externen Beschaffung von Technologien vgl. beispielsweise Gerpott; Bicak (2008), S. 1662 - 1663.

⁹⁹ Neben der internen Verwertung von Technologien in Produkten und Verfahren sehen Unternehmen die externe Technologieverwertung zunehmend als proaktive Tätigkeit, die Teil der übergeordneten Unternehmensstrategie ist und über die Verwertung ungenutzter Technologien hinausgeht (vgl. hierzu und zu den Zielen und Typen der externen Technologieverwertung beispielsweise Lichtenthaler (2006), 351, 354 - 359).

¹⁰⁰ Vgl. Zahn (1995), S. 16

Der Prozess des Technologiemanagements lässt sich in die Phasen Technologiefrühaufklärung, Technologiestrategieentwicklung, Technologiestrategieumsetzung und Technologiecontrolling unterteilen. Abbildung 5 veranschaulicht den Technologiemanagementprozess.

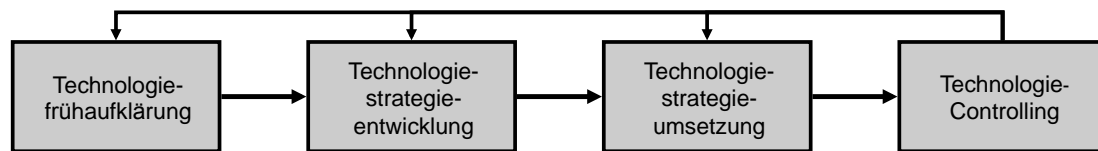


Abbildung 5: Technologiemanagementprozess

(Quelle: Mieke (2006), S. 11)

Der Technologiemanagementprozess ist nicht als sequentielle Abfolge dieser Phasen anzusehen, sondern als rückgekoppelter Prozess, in dem Phasen zum Teil permanent beziehungsweise parallel ausgeführt werden müssen.¹⁰¹ Die einzelnen Phasen setzen sich mit den folgenden Aufgabenstellungen auseinander:¹⁰²

Technologiefrühaufklärung

- Identifikation technologischer und technologierelevanter Entwicklungen der Unternehmensumwelt,
- Bewertung der technologischen Stärken und Schwächen des Unternehmens,
- Bewertung der aus diesen Entwicklungen hervorgehenden Chancen und Risiken für das Unternehmen,

Technologiestrategieentwicklung

- Formulierung eines Technologieleitbildes für das Unternehmen,
- Festlegung strategischer Technologiefelder und technologischer Kernkompetenzen,
- Formulierung von Technologiestrategien für die strategischen Geschäftsfelder,

Technologiestrategieumsetzung

- Aufbau und Pflege von Potentialen zur Umsetzung der Technologiestrategien,

¹⁰¹ Vgl. Mieke (2006), S. 10 - 11

¹⁰² Vgl. Wolfrum (1994), S. 80 - 84, 133, 446, Gerpott (1999), S. 59 - 60 und Bullinger (1996), S. 4-32 - 4-37. Vgl. auch Kapitel 3.5 für eine detailliertere Darstellung der Phase der Technologiefrühaufklärung.

-
- Koordination und Ausrichtung von Handlungen und Entscheidungen zur Realisierung der in den Technologiestrategien formulierten technologischen Unternehmensziele,

Technologiecontrolling

- Informationsversorgung des Technologiemanagements,
- Überprüfung der den Technologiestrategien zugrunde liegenden Planungsprämissen,
- Bereitstellung von Kontrollmechanismen zur Überprüfung der Umsetzung der Technologiestrategien.

Das Technologiemanagement nimmt in Unternehmen eine Querschnittsfunktion ein.¹⁰³ Es muss die Kompetenzen verschiedener Funktionsbereiche des Unternehmens, beispielsweise von Forschung und Entwicklung, Produktion sowie Marketing und Vertrieb, aber auch die externe technologische Kompetenz, beispielsweise von Lieferanten, bündeln und integrieren.¹⁰⁴ Aus dem zunehmenden Einsatz von Technologien in allen Unternehmensbereichen resultiert eine funktionsübergreifende und unternehmensweite Verteilung der technologiebezogenen Aktivitäten.¹⁰⁵ Um der Bedeutung von Technologien im Unternehmen gerecht zu werden, muss das Technologiemanagement als integrierte und ganzheitliche Aufgabe der Unternehmensführung angesehen werden.¹⁰⁶ In diesem Zusammenhang ist das strategische Technologiemanagement auf die Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen zur Auswahl derjenigen Technologien oder strategischen Technologiefelder ausgerichtet, die zur Erlangung und Erhaltung der angestrebten Wettbewerbsposition des Unternehmens den größten Zielerreichungsbeitrag leisten und die zielführendsten strategischen Wege zur Nutzung und Beherrschung der ausgewählten Technologien aufzeigen.¹⁰⁷ Das operative Technologiemanagement ist darauf ausgerichtet, die Strategien in wirtschaftlichen Erfolg zu überführen, beispielsweise durch die Realisierung von F&E-Projekten oder die Umsetzung technologiestrategiegerechter Handlungen und Entscheidungen innerhalb der täglichen Unternehmensprozesse.¹⁰⁸

¹⁰³ Vgl. Gerpott (2005), S. 65 und Schröder (1996), S. 1996

¹⁰⁴ Vgl. Zahn (1995), S. 20 - 21 und Schröder (1996), S. 1996

¹⁰⁵ Vgl. Klappert (2006), S. 18

¹⁰⁶ Vgl. Bullinger (1996), S. 4-26, Tschirky (1998b), S. 30

¹⁰⁷ Vgl. Tschirky (1998a), S. 293 - 294

¹⁰⁸ Vgl. Bullinger (1996), S. 4-36 und Tschirky (1998a), S. 340

Die vorliegende Arbeit fokussiert auf das strategische Technologiemanagement und hierbei primär auf die Phase der Technologiefrühaufklärung des Technologiemanagementprozesses.

3.5 Aufgaben und methodische Unterstützung der Technologiefrühaufklärung

Die Aufgabe der Technologiefrühaufklärung ist die systematische Beschaffung und Auswertung von Informationen über zukünftige Chancen und Risiken für die Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens, welche durch technologische oder technologierelevante Veränderungen der Unternehmensumwelt herbeigeführt werden. Durch das frühzeitige Erkennen von in der Technologieanwendung liegenden Erfolgspotentialen und -gefährdungen soll ein ausreichender Reaktionszeitraum geschaffen werden, um die eigene technologische Kompetenz und die Technologiestrategien des Unternehmens an diese Entwicklungen anpassen zu können.¹⁰⁹ Als Hauptaufgaben der Technologiefrühaufklärung lassen sich die Informationserfassung, die Informationsbewertung sowie die Informationszusammenführung und -strukturierung unterscheiden.¹¹⁰

Innerhalb des Aufgabenbereiches der Informationserfassung stellen das Scanning und das Monitoring die zentralen Methoden der Technologiefrühaufklärung dar.¹¹¹ Gefährdungen und Chancen für die technologische Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens können durch diskontinuierliche Entwicklungen¹¹² der Unternehmensumwelt resultieren, auf deren mögliches Eintreten

¹⁰⁹ Vgl. Koller (2002), S. 344

¹¹⁰ Vgl. Mieke (2006), S. 23 - 24

¹¹¹ Vgl. Koller (2002), S. 344

¹¹² Im Gegensatz zu kontinuierlichen Entwicklungen, die sich als stetige, gleichmäßige oder zufällig um einen mittleren Trend oszillierende Entwicklungen darstellen, sind diskontinuierliche Entwicklungen durch die Beendigung oder Umwandlung eines Trends charakterisiert (vgl. Macharzina (1984), S. 4, 11). Sie treten unregelmäßig, meist abrupt und unvorhergesehen auf und bringen tiefgreifende und umfassende qualitative Niveau- oder Richtungsänderungen mit sich (vgl. Konrad (1991), S. 119). Bisher gültige Gesetzmäßigkeiten werden durch die Veränderung bisher zwar bekannter, aber weitgehend konstanter Variablen oder durch den Einfluss bisher unbekannter Variablen aufgebrochen (vgl. Trux et al. (1985), S. 320), Beziehungen zwischen verschiedenen Systemvariablen oder die Systemdynamik ändern sich plötzlich und signifikant (vgl. Zahn (1979), S. 119).

schwache Signale hinweisen.¹¹³ Technologische Diskontinuitäten stellen eine Unterbrechung bisheriger Trendlinien technologischer Entwicklungen und eine Deklassierung etablierter technologischer Lösungskonzepte dar.¹¹⁴ Dabei Über- oder Unterschreiten die technologierelevanten Variablen der Unternehmensumwelt bestimmte Grenzwerte und führen zur Neuausrichtung von Strukturen.¹¹⁵ Schwache Signale liegen meist nur als sehr schlecht strukturierte und nicht eindeutig interpretierbare Informationsrudimente vor, die sich erst im Zeitverlauf durch weitere Signale verdichten und konkretisieren oder als irrelevant erweisen.¹¹⁶ Die Exploration der schwachen Signale erfolgt mehr oder weniger losgelöst von den aktuellen oder geplanten Produkt- und Prozesstechnologien eines Unternehmens, um auch technologierelevante Chancen und Risiken außerhalb der gegenwärtigen Aktivitäten des Unternehmens identifizieren zu können.¹¹⁷ Deutet ein schwaches Signal auf ein für das Unternehmen relevantes Phänomen hin, müssen die Informationsstruktur des Phänomens durch vertiefendes und dauerhaftes Beobachten verbessert und denkbare Auswirkungen des Phänomens auf die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens antizipiert werden.¹¹⁸ Das Scanning umfasst die ungerichtete Suche nach diesen schwachen Signalen und bezieht sich beispielsweise auf¹¹⁹:

- neue Anwendungspotentiale für vorhandene technologische Kompetenzen, welche (a) die Verbesserung von Produkten oder Prozessen im eigenen Unternehmen ermöglichen, (b) ein Unternehmen zur Entwicklung neuer

¹¹³ Vgl. Ansoff (1976), S. 131 und Krystek; Müller-Stewens (2006), S. 180

¹¹⁴ Vgl. Krystek (1986), S. 284

¹¹⁵ Vgl. Zahn (1979), S. 119

¹¹⁶ Vgl. Krystek; Müller-Stewens (2006), S. 180 und Geschka (1995), S. 632

¹¹⁷ Vgl. Gerpott (2005), S. 102

¹¹⁸ Vgl. Krystek; Müller-Stewens (2006), S. 182. Der Übergang von der Identifikation eines schwachen Signals durch das Scanning zur Entscheidung, das Phänomen innerhalb des Monitoring gezielt zu beobachten, ist fließend (vgl. ebenda, S. 182).

¹¹⁹ Vgl. Koller (2002), S. 346 oder auch Gelbmann; Vorbach (2007), S. 96, 107 und Corsten; Gössinger; Schneider (2006), S. 246 - 255. Obwohl die Technologiefrühaufklärung darauf abzielt, möglichst alle schwachen Signale des Unternehmensumfeldes zu erfassen, setzen die verfügbaren Methoden und Instrumente sowie der dafür erforderliche Aufwand diesem Bestreben in der Unternehmenspraxis regelmäßige Grenzen (vgl. Krystek; Müller-Stewens (2006), S. 181).

Produkte inspirieren oder (c) neue externe Verwertungsmöglichkeiten für die vorhandenen technologischen Kompetenzen zugänglich machen,

- die Veränderung der Relevanz der vorhandenen technologischen Kompetenzen durch technologierelevante rechtliche, politische, gesellschaftliche oder ökonomische Veränderungen des Unternehmensumfeldes,
- das Aufkommen neuer Produkt-, Prozess- oder Infrastrukturtechnologien mit Relevanz für die Wertschöpfungsprozesse oder die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens,
- die Weiterentwicklung bekannter komplementärer oder konkurrierender Technologien aus anderen Branchen mit Relevanz für die im Unternehmen implementierten Produkt-, Prozess- oder Infrastrukturtechnologien,
- die Veränderung der technologischen Situation eigener Lieferanten oder
- die Veränderung der Nachfrage nach bestimmten Technologien.

Beim Monitoring wird die Entwicklung des Unternehmensumfeldes durch die gerichtete Beobachtung, Erfassung und Auswertung definierter Frühwarnindikatoren überwacht. Die Frühwarnindikatoren sollen symptomatisch und in gewisser Weise automatisch auf technologische und technologierelevante Entwicklungen des Unternehmensumfeldes aufmerksam machen. Typische Indikatoren sind beispielsweise¹²⁰:

- Kennzahlen der Publikationsanalyse,
- Kennzahlen der Patentanalyse,
- Kennzahlen über die Kundenzufriedenheit, wie Anfragen potentieller Kunden oder Kundenbeschwerden,
- Kennzahlen über das Wachstum von Anbietern bestimmter Technologien,
- Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen bestimmter Unternehmen,
- Kennzahlen des Diffusionsverlaufs bestimmter neuer Technologien,

¹²⁰ Vgl. beispielsweise Wolfrum (1994), S. 138 - 151, Kornwachs (1995), S. 222 - 223 und Koller (2002), S. 345. In einer weitergehenden Systematisierung von Indikatoren entlang des Innovationsprozesses mit den Phasen Technologieentstehung, Technikentstehung und Technikentwicklung lassen sich Aufwandsindikatoren, Ertragsindikatoren und Effektivitätsindikatoren unterscheiden. Aufwandsindikatoren leiten technologische Chancen und Risiken durch den Vergleich des bereitgestellten Inputs, Ertragsindikatoren am erzielten Output in den jeweiligen Phasen ab. Effektivitätsindikatoren erfassen die Wirksamkeit der Outputs hinsichtlich darauf aufbauender Forschungsaktivitäten beziehungsweise hinsichtlich der Marktakzeptanz des Outputs (vgl. Grupp et al. (1987), S. 14 und Peiffer (1992), S. 132 - 183).

- Kennzahlen über die Entwicklung des Qualifikationsbedarfs in bestimmten Unternehmen oder Branchen, wie Ausschreibungen, Freisetzen, Neueinstellungen im Zusammenhang mit bestimmten Technologien,
- Kennzahlen über die Entwicklung des wirtschaftlich-technischen Leistungsniveaus vorhandener und alternativer Technologien,
- Kennzahlen über die Entwicklung von technologiesubstitutionsbestimmenden Faktoren, wie Umstellungskosten für Anwender oder das Potential der Technologieanbieter,
- Kennzahlen über die Entwicklung des technologischen Potentials vorhandener und potentieller Lieferanten.

Die Definition und Abgrenzung der Beobachtungsfelder sowie die Festlegung geeigneter Frühwarnindikatoren ist von den unternehmensindividuellen Möglichkeiten der Durchführung von Technologiefrühaufklärungsaktivitäten und den unternehmensindividuellen Anforderungen an die Technologiefrühaufklärung abhängig.¹²¹ Grundsätzlich sind diejenigen Beobachtungsbereiche zu identifizieren, die besonders attraktiv hinsichtlich der Hervorbringung und Durchsetzung technologischer Wettbewerbsvorteile für ein Unternehmen erscheinen und dadurch das Interesse an zusätzlichen Informationen wecken. Die angeführten Indikatoren sind in diesem Zusammenhang nicht als eindeutige Messgrößen zu verstehen, sondern im Sinne von Orientierungshilfen, welche die gesuchte Größe mehr oder weniger gut abbilden.¹²² Erst durch die synoptische Betrachtung und Interpretation verschiedenartiger Indikatoren wird eine Antizipation von technologierelevanten Entwicklungen möglich.¹²³

Die Erfassung der Informationen kann durch die Nutzung und Auswertung formaler Quellen, wie Bibliotheken und Datenbanken, Patenten, Statistiken, Zukunftsstudien, Firmenneugründungen oder dem Internet, sowie informeller Quellen, wie Konferenzen, Workshops, Messen, Netzwerken, Experteninterviews, persönlichen Kontakten oder Forschungs- und Entwicklungskooperationen, erfolgen. Grundsätzlich sollte sich die Informationserfassung nicht nur

¹²¹ Vgl. beispielsweise Gerpott (2005), S. 102, Gelbmann; Vorbach (2007), S. 95 - 111, Zeller (2003), S. 90 - 91 und Bea; Haas (2013), S. 302 - 304

¹²² Vgl. Peiffer (1992), S. 132

¹²³ Vgl. Grupp; Hohmeyer; Schmoch (1987), S. 24

auf das explizite, dokumentierte Wissen beschränken, sondern auch auf das implizite Wissen der Informationsquellen über zukünftige Technologien oder technologierelevante Entwicklungen zurückgreifen. Insbesondere in dynamischen Beobachtungsbereichen sind informelle Informationen von großer Bedeutung, da die formalen Informationen schnell veralten. Aus diesem Grund werden für die Informationserfassung oftmals kommunikationsorientierte Methoden und Instrumente eingesetzt.¹²⁴

Im Rahmen der Informationsbewertung erfolgt die Diagnose und Bewertung der Relevanz der erfassten Informationen für das Unternehmen. Zur Analyse und Interpretation der Informationen können qualitative und quantitative Verfahren eingesetzt werden. Zu den erstgenannten Verfahren zählen beispielsweise Cross-Impact- oder Conjoint-Analysen. Zur Gruppe der quantitativen Verfahren gehören beispielsweise die Trendanalyse und Prognosemodelle.¹²⁵

Durch Aggregation und Strukturierung werden die als relevant betrachteten Informationen zusammengeführt, vernetzt und visualisiert, um Zusammenhänge transparent zu machen und verschiedene Handlungsoptionen als Reaktion auf die wahrgenommenen technologiebezogenen Entwicklungen aufzeigen und entsprechende Technologiestrategien ableiten zu können.¹²⁶ Beispielsweise werden mit Hilfe von Technologie-Roadmaps Entwicklungsfolgebeziehungen und Verfügbarkeitszeitpunkte verschiedener Technologien und Technologiegenerationen visualisiert, die dann als Grundlage für Entscheidungen über Forschungs- und Entwicklungsprojekte dienen können.¹²⁷

Zur Durchführung der Aufgaben der Technologiefrühaufklärung stehen verschiedene Methoden und Instrumente zur Verfügung.¹²⁸ Sie unterscheiden

¹²⁴ Vgl. Reger (2001), S. 82 - 84

¹²⁵ Vgl. Koller (2002), S. 348 und die dort angegebene Literatur

¹²⁶ Vgl. Mieke (2006), S. 32, 114

¹²⁷ Vgl. Behrens (2003), S. 55

¹²⁸ Die Begriffe Methode und Instrument sowie deren Abgrenzung werden in der betriebswirtschaftlichen Literatur unterschiedlich definiert. Unter dem Begriff Methode (griechisch *méthodos*) soll in dieser Arbeit eine endliche Folge von mehr oder weniger konkreten, kommunizier- und lehrbaren, normativen und präskriptiven sowie intersubjektiv kontrollierbaren Handlungsanweisungen oder Regeln zur Erreichung eines bestimmten Zieles beziehungsweise zur Lösung einer spezifischen Aufgabe verstanden werden (vgl. Stier (1999), S. 1 - 2). Der Begriff Instrument kann auf das lateinische *instrumentum* zurück-

sich in ihren Vorgehensweisen und ihren Zielstellungen. Zudem haben alle Methoden und Instrumente ihre Stärken und Schwächen, beispielsweise hinsichtlich des zeitlichen Aufwandes, des berücksichtigten Zeithorizontes, der Art der einbezogenen Informationen oder der Ergebnisdarstellungsmöglichkeiten.¹²⁹ Tabelle 4 gibt einen Überblick über verschiedene Methoden und Instrumente zur Unterstützung der Aufgaben der Technologiefrühaufklärung und ordnet diese den genannten Hauptaufgaben der Technologiefrühaufklärung zu.¹³⁰

geführt werden und bedeutet in einer ersten Annäherung Gerät, Hilfsmittel oder Werkzeug. Bei den meisten Autoren findet sich übereinstimmend, dass Instrumente Hilfsmittel zur Realisierung von Handlungen sind (vgl. Schäffer; Steiners (2005), S. 115). Eine genauere Untersuchung des Begriffs *instrumentum* führt nach Mag (vgl. Mag (1995), S. 19) zu den zwei eigenständigen Wortstämmen *instruere* (lateinisch) und *mens* (lateinisch). Diese bedeuten hineinfügen, errichten, erbauen, ordnen, geordnet aufstellen, einrichten, ausrüsten oder bereiten beziehungsweise Gedanke, Denkkraft, Verstand, Überlegung, Einsicht, Wille, Absicht oder Plan. Dies impliziert, dass neben der erforderlichen intellektuellen Leistung des Instrumentenbenutzers auch dem Instrument selbst eine gewisse immanente Intelligenz zugeschrieben werden kann. Bezüglich der Abgrenzung der Begriffe Methode und Instrument schlussfolgert Mag in diesem Zusammenhang, dass Methoden Unterfälle von Instrumenten sind (vgl. Mag (1995), S. 19). Hierbei unterscheidet er mentale Planungsinstrumente, zu denen er Modelle, Verfahren und Methoden zählt, und reale Planungsinstrumente, wofür er Pläne, Planungsmaterialien und maschinelle Datenverarbeitungsanlagen als Beispiel benennt (vgl. Mag (1999), S. 38 - 39). Dieser Sichtweise soll, ebenso wenig wie der synonymen Verwendung beider Begriffe bei einigen Autoren (vgl. beispielsweise Wild (1982), S. 146, Pfohl; Stölzle (1997), S. 128 oder Wall (1999), S. 135), im Rahmen dieser Arbeit aus folgenden Überlegung nicht gefolgt werden: Unabhängig davon, ob es sich um ein mentales oder reales Hilfsmittel zur Realisierung einer Handlung(-sanweisung) handelt, ist zu dessen Erschaffung methodisches Wissen erforderlich, um ihm seine problemlösungsbezogene Intelligenz zu verleihen. In gewisser Weise kann ein Instrument als gedankliche oder materielle Vergegenständlichung einer einzelnen Handlungsanweisung oder einer Methode angesehen werden. Weiterhin ist allein die Existenz eines Instrumentes trotz seiner immanenten Intelligenz, beispielsweise eines Hammers, für die Erreichung eines bestimmten Zieles oder der Lösung eines bestimmten Problems, beispielsweise die Befestigung eines Gegenstandes an der Wand, noch nicht ausreichend. Es ist eine Methode zur zielführenden Handhabung des Hammers beziehungsweise zur gezielten Kombination des Hammers mit anderen Hilfsmitteln, hier beispielsweise einem Nagel, erforderlich, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen, dem Beispiel folgend, hier also den Nagel erfolgreich in die Wand schlagen zu können. Aus diesem Grund sollen Instrumente in dieser Arbeit als problemlösungsbezogene Hilfsmittel verstanden werden, die innerhalb von Methoden zur Realisierung von Handlungen eingesetzt werden können, da in ihnen methodisches Wissen über die Realisierung von Handlungsanweisungen in Form von Modellen, Verfahren oder realen Objekten vergegenständlicht ist. Instrumente können in diesem Zusammenhang mit anderen Methoden und Instrumenten kombiniert oder in Abhängigkeit ihrer Komplexität weitere Methoden und Instrumente enthalten.

¹²⁹ Vgl. Reger (2001), S. 83 - 85 und Grupp (2004), S. 28

¹³⁰ Zur Beschreibung der einzelnen Methoden und Instrumente und deren Zuordnung zu den Hauptaufgaben der Technologiefrühaufklärung vgl. beispielsweise die Ausführungen bei Gerpott (2005); Gerybadze (1996), Hartmann; Mild; Sasse (1997), Koller (2002),

Tabelle 4: Methoden und Instrumente der Technologiefrühaufklärung

(Quelle: Eigene Darstellung)

Technologiefrühaufklärung		
Informationserfassung (Monitoring, Scanning)	Informationsbewertung	Informationsaggregation und -strukturierung
<ul style="list-style-type: none"> - Expertenanalyse (Hearings, Workshops, Interviews, Delphi-Studien) - Dokumentenanalyse (Publikationen, Patente, Kundenwünsche, ...) - Umfeldbeobachtung und -analyse (neue Anwendungspotentiale, Relevanz, Weiterentwicklung vorhandener Technologien, ...) 	<ul style="list-style-type: none"> - (Produkt-/Technologie-) Portfoliokonzepte - Technologielebenszyklus - S-Kurven-Konzept - Relevanzbaumanalysen - Entwicklungsmuster (TRIZ) - Conjoint-Analyse - Cross-Impact-Analyse - Trendanalyse - Prognosemodelle - Kausal- bzw. Systemmodelle - Technikfolgenabschätzung 	<ul style="list-style-type: none"> - Szenario-Analyse - Technologie-Roadmapping - Technologiekalender - Technologiebilanz - Morphologischer Kasten

Für den Erfolg der Technologiemanagementaktivitäten kommt der Phase der Technologiefrühaufklärung eine besondere Bedeutung zu.¹³¹ Die Leistungsfähigkeit der hier zur Verfügung stehenden Methoden und Instrumente bestimmt zunächst wesentlich die Quantität und die Qualität der erfassten Informationen für das Technologiemanagement. Darüber hinaus wird durch die Möglichkeiten einer angemessenen methodischen Weiterverarbeitung der erfassten Informationen die Qualität der Entscheidungsgrundlagen für die Entwicklung und Ausrichtung der Technologiestrategien maßgeblich beeinflusst. An dieser Stelle setzt die vorliegende Arbeit an. Ihr Ziel ist die Verbesserung der aus der Phase der Technologiefrühaufklärung hervorgehenden Entscheidungsgrundlagen für die sich anschließende Phase der Technologiestrategieentwicklung durch die methodische Weiterentwicklung des Technologiefrühaufklärungsprozesses. Nur wenn die technologischen und technologierelevanten Informationen des Unternehmensumfeldes mit geeigneten Methoden und Instrumenten einerseits umfassend und zum anderen mit ihrem gegebenen Informationsgehalt adäquat erfasst und verarbeitet werden können, lassen sich geeignete Schlussfolgerungen für die technologiestrategische Ausrichtung eines

Mieke (2006), Mild; Sasse (1999), Möller; Janssen (2009), Oertelt (2009), Schröder (1995), Specht; Behrens; Mieke (2004), Tschirky (1998a), Wolfrum (1994) und Zahn (1995). Mit der Auswahl der Methoden und Instrumente wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Die Zuordnung der Methoden und Instrumente zu den jeweiligen Hauptaufgaben der Technologiefrühaufklärung ist als formal zu betrachten. Die Anwendungsbreite einzelner Methoden und Instrumente lässt gegebenenfalls auch eine Zuordnung zu anderen Aufgabenbereichen der Technologiefrühaufklärung zu.

¹³¹ Vgl. Mieke (2006), S. 11

Unternehmens ziehen, welche für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens von entscheidender Bedeutung ist.¹³² Zur Realisierung dieser Zielstellung wird in der vorliegenden Arbeit die Fuzzy Set Theorie als unterstützendes Konzept vorgeschlagen. Wie im Verlauf der weiteren Ausführungen gezeigt wird, kann durch die Untersetzung der Phase der Technologiefrühaufklärung beziehungsweise der Methoden und Instrumente der Technologiefrühaufklärung mit Hilfe von Konzepten der Fuzzy Set Theorie eine adäquatere Modellierung der Entscheidungssituationen der Technologiefrühaufklärung gelingen, aus der Entscheidungsgrundlagen mit einem höheren Informationsgehalt resultieren. Im folgenden Kapitel werden die für diese Arbeit relevanten Grundlagen der Fuzzy Set Theorie vorgestellt.

¹³² Vgl. Kapitel 3.1

4 Fuzzy Set Theorie

Die Klassen von Objekten der realen Welt¹³³ besitzen in den meisten Fällen keine genau definierten Kriterien der Zugehörigkeit. Dennoch spielen diese ungenau definierten Klassen, beispielsweise bei der Mustererkennung, der Kommunikation von Informationen oder der Abstraktion, eine bedeutende Rolle im menschlichen Denken.¹³⁴ Der menschliche Verstand kann Problemstellungen gerade dann sehr effektiv abstrahieren, wenn diese mathematisch nicht wohldefiniert sind. Zur Verarbeitung von Klassen mit unscharf definierten Grenzen stellte Lotfi A. Zadeh im Jahr 1965 das Konzept der Fuzzy Set Theorie¹³⁵ vor, mit dem die Unbestimmtheit, die nicht aus einer Zufallsvariable oder einem stochastischen Prozess resultiert, auf quantitative Art und Weise abgebildet werden kann.¹³⁶ Die folgenden Ausführungen erörtern die theoretischen Grundlagen der Fuzzy Set Theorie, die für die Zielstellungen dieser Arbeit von Bedeutung sind und im Rahmen der Gestaltung des Konzeptes Anwendung finden.

4.1 Grundlagen der Fuzzy Set Theorie

4.1.1 Fuzzy-Mengen und Zugehörigkeitsfunktionen

Der Terminus *Fuzzy Set Theorie* kann aus dem Englischen mit *Theorie unscharfer Mengen* übersetzt werden.¹³⁷ Der Begriff der Menge innerhalb der Fuzzy Set Theorie unterscheidet sich von dem Begriff der Menge innerhalb der klassischen Mengenlehre. Im Gegensatz zum klassischen Mengenbe-

¹³³ Klassen werden in der objektorientierten Programmierung verwendet, um gleichartige Objekte anhand bestimmter Eigenschaften von realen Objekten zu definieren. Sie stellen eine Beschreibung der Eigenschaften von Objekten dar (vgl. Braun; Esswein; Greifenberg (2006), S. 19).

¹³⁴ Vgl. Zadeh (1965a), S. 338 - 339

¹³⁵ Vgl. Zadeh (1965a)

¹³⁶ Vgl. Zadeh (1965b), S. 29 - 30

¹³⁷ Vgl. Zimmermann (1993), S. 8 und Kahlert; Frank (1994), S. 10

griff¹³⁸, bei dem ein Objekt aufgrund seiner Eigenschaften entweder zu einer Menge gehört oder nicht gehört, wird bei unscharfen Mengen keine Einteilung der betrachteten Objekte in komplementäre Mengen vorgenommen.¹³⁹ Eine unscharfe Menge A ist auf einer Grundmenge X durch eine Zugehörigkeitsfunktion $\mu_A(x)$ charakterisiert, welche jedem Objekt x der Grundmenge X einen Zugehörigkeitsgrad zur Menge A im Intervall $[0, 1]$ ¹⁴⁰ zuordnet. Je näher der Funktionswert $\mu_A(x)$ bei Eins liegt, desto größer ist der Grad der Zugehörigkeit von x zur unscharfen Menge A .¹⁴¹ Beträgt der Zugehörigkeitsgrad $\mu_A(x) = 0$, ist x nicht in der unscharfen Menge A enthalten. Bei einem Zugehörigkeitsgrad $\mu_A(x) = 1$ gehört x vollständig zur unscharfen Menge A . Eine Menge A im klassischen Sinne kann als spezielle Fuzzy-Menge interpretiert werden, deren Zugehörigkeitsfunktion nur die beiden Werte 0 und 1 annimmt.¹⁴²

Die Fuzzy Set Theorie kann als Verallgemeinerung der klassischen Mengenlehre beziehungsweise als Verallgemeinerung der zweiwertigen Logik betrachtet werden.¹⁴³ Eine Relaxation der klassischen Mengenlehre erweist sich immer dann als hilfreich, wenn für reale Problembeschreibungen Abstufungen zwischen „Eins“ und „Null“ beziehungsweise „wahr“ und „falsch“ erforderlich werden, weil keine zweiwertige Aussage hinsichtlich der Zugehörigkeit eines Objektes zu einer Menge getroffen werden kann.¹⁴⁴ Als Beispiele für unscharfe Mengen nennt Zadeh in seinem einführenden Artikel die „Menge der reellen Zahlen, welche viel größer als Eins sind“, die „Menge der großen Männer“ und die „Menge der schönen Frauen“. Für diese unscharfen Mengen können durch

¹³⁸ Nach Cantor ist unter einer Menge „jede Zusammenfassung von bestimmten wohl unterschiedenen Objekten unserer Anschauung oder unseres Denkens zu einem Ganzen“ zu verstehen (Cantor (1895), S. 481).

¹³⁹ Vgl. Zadeh (1965b), S. 29

¹⁴⁰ Die Beschränkung der Werte der Zugehörigkeitsfunktionen auf das Intervall $[0, 1]$ ist nicht zwingend, aber zweckmäßig, da sie hierdurch unter anderem den mathematischen Regeln in mehrwertigen Logiken und der Wahrscheinlichkeitstheorie folgt (vgl. Biewer (1997), S. 55). Eine auf das Intervall $[0, 1]$ beschränkte unscharfe Menge wird als normierte unscharfe Menge bezeichnet (vgl. Zimmermann (1993), S. 8).

¹⁴¹ Vgl. Zadeh (1965a), S. 339

¹⁴² Vgl. Nauck; Kruse (1997), S. 6

¹⁴³ Vgl. Zimmermann (1993), S. 8

¹⁴⁴ Vgl. Frank (2002), S. 3. Bei der Interpretation der Funktionswerte als Wahrheitswerte entspricht dies der mehrwertigen Logik mit kontinuierlichen Wahrheitswerten im Intervall $[0, 1]$ (vgl. Zadeh (1965a), S. 339).

spezifizierte Zugehörigkeitsfunktionen zwar subjektive, aber dafür präzise Beschreibungen vorgenommen werden. Für die Menge A der reellen Zahlen, welche viel größer als Eins sind, könnten die Zugehörigkeitsgrade wie folgt aussehen: $\mu_A(0) = 0$; $\mu_A(1) = 0$; $\mu_A(5) = 0,01$; $\mu_A(10) = 0,2$; $\mu_A(100) = 0,95$; $\mu_A(500) = 1$.¹⁴⁵ Abbildung 6 illustriert das beschriebene Beispiel als klassische Menge und als unscharfe Menge.

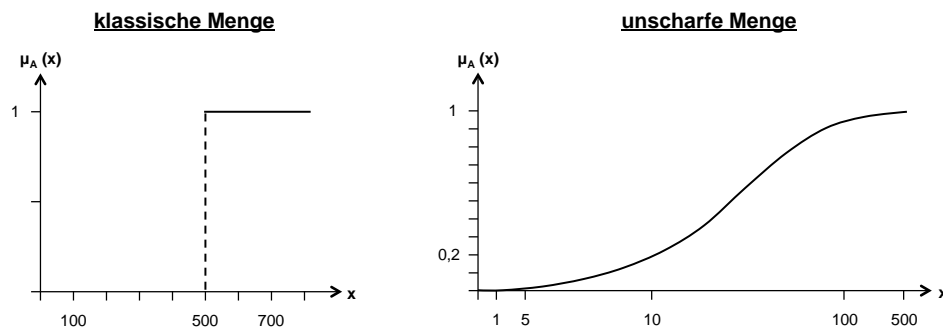


Abbildung 6: Klassische und unscharfe Menge der reellen Zahlen, welche viel größer als Eins sind (Quelle: in Anlehnung an Biewer (1997), S. 56 und Kahlert; Frank (1994), S. 9)

Mit Hilfe der Zugehörigkeitsgrade gelingt eine realistischere Modellierung von Objekten, die hinsichtlich einer unscharfen Aussage, wie beispielsweise groß, weit, warm oder viel, zu bewerten sind. Es kann ein weicher Übergang zwischen den Objekten definiert werden, die mit Sicherheit zu einer bestimmten Menge gehören und denen, die mit Sicherheit nicht zu dieser Menge gehören.¹⁴⁶ „Essentially, such a framework provides a natural way of dealing with problems in which the source of imprecision is the absence of sharply defined criteria of class membership rather than the presence of random variables.“¹⁴⁷ Für die Auswahl von unscharfen Mengen zur Darstellung von unscharfen Aussagen ist der Zusammenhang in der jeweiligen Situation entscheidend. Die unscharfe Menge „groß“, bezogen auf die Körpergröße erwachsener deutscher Männer, kann beispielsweise aus Sicht eines Arztes, eines Textilherstellers oder eines Basketballspielers zu unterschiedlichen unscharfen Mengen führen.¹⁴⁸

¹⁴⁵ Vgl. Zadeh (1965a), S. 340

¹⁴⁶ Vgl. Nauck; Kruse (1997), S. 6 - 7

¹⁴⁷ Zadeh (1965a), S. 339

¹⁴⁸ Vgl. Nauck; Kruse (1997), S. 6 - 7

Fuzzy-Mengen werden durch Zugehörigkeitsfunktionen, beispielsweise in Form von Funktionsgleichungen, Funktionsgraphen oder durch die Auflistung von Argument-Wert-Paaren, beschrieben.¹⁴⁹ Zugehörigkeitsfunktionen drücken meist subjektive Einschätzungen oder Beurteilungen aus.¹⁵⁰ Sie bieten eine praktikable Form der mathematischen Modellierung von Wissen, welche dem tatsächlichen Informationsstand des Entscheidungsträgers angemessen ist.¹⁵¹ Die Definition der Zugehörigkeitsfunktionen ist in der Regel die Aufgabe des Anwenders eines Fuzzy-Systems.¹⁵² Häufig ist es möglich, unscharfe Mengen durch Standard-Zugehörigkeitsfunktionen abzubilden. Diese erfordern die Festlegung nur weniger Parameter und sind daher leicht zu modellieren.¹⁵³ Abbildung 7 zeigt für die dreiecks-, trapez- und gaußförmigen Standardfunktionen beispielhafte Funktionsgraphen und die Funktionsgleichungen.¹⁵⁴

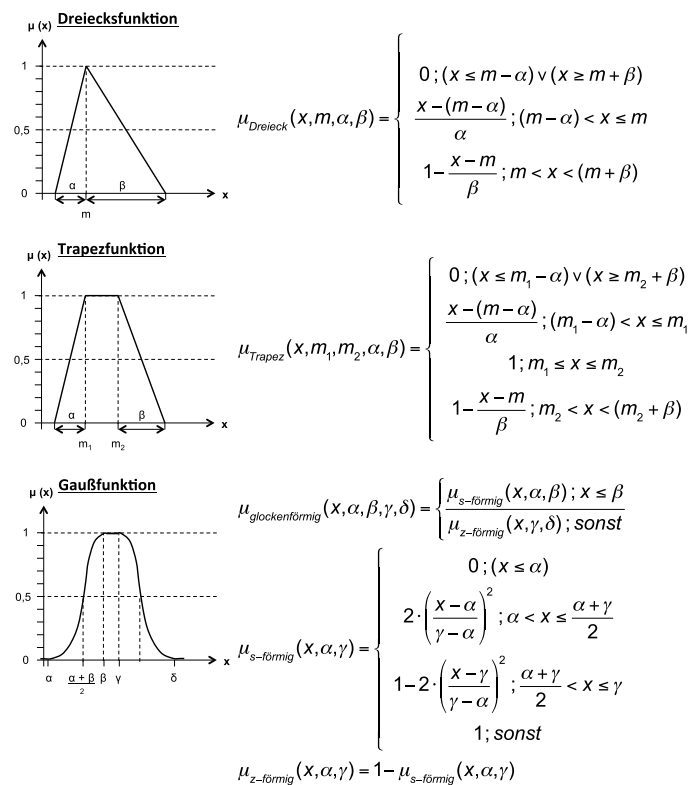


Abbildung 7: Funktionsgraphen und -gleichungen typischer Zugehörigkeitsfunktionen
(Quelle: in Anlehnung an Biewer (1997), S. 57 - 59)

¹⁴⁹ Vgl. Biewer (1997), S. 57

¹⁵⁰ Vgl. Mißler-Behr (2001), S. 38

¹⁵¹ Vgl. Rommelfanger; Eickemeier (2002), S. 38

¹⁵² Vgl. Bothe (1995), S. 9 und die Ausführungen in Kapitel 6.3.2.1

¹⁵³ Vgl. Altrock (1993), S. 154

¹⁵⁴ Vgl. Nauck; Kruse (1997), S. 7

Standard-Zugehörigkeitsfunktionen sind nicht für alle Modellierungsaufgaben geeignet. Eine größere Flexibilität bieten beispielsweise stückweise lineare Zugehörigkeitsfunktionen.¹⁵⁵ Spline-Zugehörigkeitsfunktionen können eine bessere Annäherung an die menschliche Intuition bei der Modellierung von unscharfen Mengen ermöglichen.¹⁵⁶ Darüber hinaus können auch scharfe Werte als sogenannter Singleton durch eine Zugehörigkeitsfunktion dargestellt werden.¹⁵⁷

Zu den wichtigsten Eigenschaften und Kenngrößen unscharfer Mengen gehören die Kardinalität, die relative Kardinalität, die Höhe, die Normalität, die Konvexität, der Träger, der Kern und der α -Schnitt einer unscharfen Menge.¹⁵⁸ Abbildung 8 zeigt die wichtigsten Kenngrößen unscharfer Mengen.

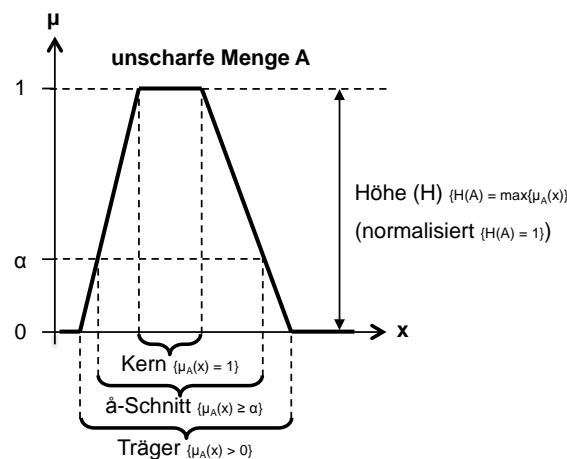


Abbildung 8: Wichtige Kenngrößen unscharfer Mengen
(Quelle: in Anlehnung an Kiendl (1997), S. 110)

¹⁵⁵ Vgl. Biewer (1997), S. 61

¹⁵⁶ Vgl. Altrock (1993), S. 156

¹⁵⁷ Vgl. Kahlert; Frank (1994), S. 12. In der Literatur werden weitere Formen von Zugehörigkeitsfunktionen beziehungsweise Typen von unscharfen Mengen beschrieben (vgl. beispielsweise Biewer (1997), S. 73 - 74 und Zimmermann (2001), S. 23 - 27 sowie die jeweils dort angegebene Literatur).

¹⁵⁸ Vgl. Kiendl (1997), S. 109 - 111 und Biewer (1997), S. 65 - 69. Die Kardinalität oder auch Mächtigkeit einer unscharfen Menge entspricht der Summe der Zugehörigkeitsgrade aller ihrer Elemente bei einer abzählbaren Grundmenge beziehungsweise dem Integral der Zugehörigkeitsfunktion $\mu(x)$ der unscharfen Menge bei einer nicht-abzählbaren Grundmenge. Die relative Kardinalität entspricht dem Verhältnis aus absoluter Kardinalität einer unscharfen Menge zu ihrer Grundmenge (vgl. Jaanineh; Maijohann (1996), S. 76 - 77). Häufig ist auch das Verhältnis der Mächtigkeit einer Menge zu einer anderen Menge von Interesse (vgl. Zadeh (1986), S. 664).

Unscharfe Zahlen und unscharfe Intervalle stellen spezielle unscharfe Mengen dar, die wegen ihrer Bedeutung für die intuitive Beschreibung von unscharfen Sachverhalten im Folgenden kurz dargestellt werden. Unscharfe Zahlen sind auf der Menge der reellen Zahlen definiert und besitzen genau ein Element mit dem Zugehörigkeitsgrad 1. Darüber hinaus sind unscharfe Zahlen konvex, das heißt, die Zugehörigkeitsgrade nehmen ausgehend vom Maximum stetig zu den Grenzen der unscharfen Menge hin ab, und normiert, das heißt, alle Zugehörigkeitswerte der unscharfen Menge liegen im Intervall $[0, 1]$.¹⁵⁹ Unscharfe Intervalle unterscheiden sich von unscharfen Zahlen hinsichtlich der Ausdehnung des Maximums. Dieses erstreckt sich bei unscharfen Intervallen über einen bestimmten Bereich der Grundmenge, während es bei unscharfen Zahlen genau einen maximalen Zugehörigkeitswert gibt. In praktischen Anwendungen treten unscharfe Zahlen und unscharfe Intervalle häufig in dreiecksförmiger beziehungsweise trapezförmiger Gestalt auf.¹⁶⁰

4.1.2 Das Konzept der linguistischen Variablen

Eine linguistische Variable ist eine Variable, deren Werte keine Zahlen, sondern Wörter oder Sätze einer natürlichen oder künstlichen Sprache sind. Sie ist durch ihren Namen, durch eine Menge von linguistischen Werten, welche die möglichen Ausprägungen der linguistischen Variablen darstellen, durch eine Grundmenge, durch eine syntaktische Regel, nach welcher die linguistischen Werte erzeugt werden und durch eine semantische Regel, nach welcher jedem linguistischen Wert seine Bedeutung in Form einer unscharfen Menge auf der Grundmenge zugeordnet werden kann, charakterisiert. Mit Hilfe von linguistischen Variablen gelingt die approximative Beschreibung von Sachverhalten, welche aufgrund ihrer Komplexität oder schlechten Bestimmbarkeit für konventionelle quantitative Darstellungen nicht zugänglich sind.¹⁶¹ Durch linguistische Variablen können linguistische Werteskalen auf numeri-

¹⁵⁹ Vgl. Jaanineh; Maijohann (1996), S. 64 - 65, 67 und Zimmermann (1993), S. 12

¹⁶⁰ Vgl. Jaanineh; Maijohann (1996), S. 72 und die Ausführungen in Kapitel 6.3.2.1

¹⁶¹ Vgl. Zadeh (1975a), S. 199. Für die Erzeugung der linguistischen Werte einer linguistischen Variablen schlägt Zadeh eine kontextfreie Grammatik als pragmatischen Ansatz vor (vgl. ebenda, S. 204). Vgl. zum Konzept der linguistischen Variablen auch Zadeh (1975b) und Zadeh (1975c).

sche Werteskalen abgebildet werden.¹⁶² Abbildung 9 zeigt die linguistische Variable „Betriebstemperatur eines Kühlprozesses“.¹⁶³

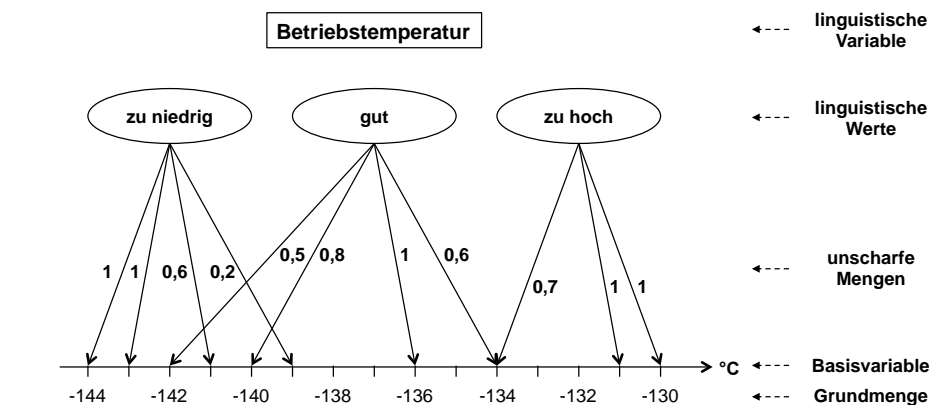


Abbildung 9: Linguistische Variable „Betriebstemperatur eines Kühlprozesses“

(Quelle: in Anlehnung an Zimmermann (1993), S. 13)

Das Beispiel der linguistischen Variablen „Betriebstemperatur eines Kühlprozesses“ verdeutlicht die große praktische Bedeutung der unscharfen Mengen. Die linguistischen Werte einer linguistischen Variablen können durch unscharfe Mengen quantifiziert werden und stellen die Verbindung zwischen linguistischem Ausdruck und numerischer Information dar. Der Anlagenfahrer wird sehr wahrscheinlich auf dem Skalenniveau der linguistischen Werte über den Anlagenzustand kommunizieren, während die physikalische Skala der möglichen Temperaturen in °C beliebig genau angegeben werden könnte.¹⁶⁴ Das Konzept der linguistischen Variablen gleicht der menschlichen Denkweise, da komplexe Sachverhalte durch den Menschen leichter verbal und durch intuitive Sichtweisen beschrieben werden können als durch zahlenmäßig auswertbare und exakt quantifizierbare Angaben.¹⁶⁵

Durch die Definition des Begriffs „Wahrheit“ als linguistische Variable, beispielsweise durch linguistische Werte wie „wahr“, „sehr wahr“, „vollständig wahr“, „nicht sehr wahr“ oder „unwahr“, gelingt die Verknüpfung der Theorie

¹⁶² Vgl. Bothe (1995), S. 9

¹⁶³ Vom Anlagenhersteller wurde die optimale Temperatur des Kühlprozesses einer verfahrenstechnischen Anlage auf -136 °C festgelegt. Erfahrungen aus dem Einsatz der Anlage zeigen, dass diese problemlos zwischen -142 °C und -132 °C betrieben werden kann (vgl. Zimmermann (1993), S. 13).

¹⁶⁴ Vgl. Rommelfanger (1988), S. 64 und Zimmermann (1993), S. 10, 13

¹⁶⁵ Vgl. Börscök (2000), S. 14 und Lehmann; Weber; Zimmermann (1992), S. 3

der unscharfen Mengen mit der Logik. Die Auffassung von Wahrheit als linguistische Variable führt zu einer unscharfen Logik, welche eine bessere Annäherung an die Logik von menschlichen Entscheidungsprozessen ermöglicht, als dies durch die zweiwertige Logik gelingt.¹⁶⁶

4.1.3 Fuzzy-Operatoren

Um unscharfe Mengen miteinander verknüpfen zu können, wurden zunächst die elementaren Operationen der klassischen Mengenlehre auf die Theorie der unscharfen Mengen übertragen. Die Komplementbildung, die Vereinigung und die Durchschnittsbildung sind innerhalb der Fuzzy Set Theorie folgendermaßen definiert:¹⁶⁷

Das *Komplement* A' einer unscharfen Menge A ist definiert durch

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x).$$

Die *Vereinigung* der zwei Mengen A und B mit den Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_A(x)$ und $\mu_B(x)$ ist eine unscharfe Menge $C = A \cup B$ mit der Zugehörigkeitsfunktion

$$\mu_C(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \} \text{ mit } x \in X.$$

Der *Durchschnitt* der zwei Mengen A und B mit den Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_A(x)$ und $\mu_B(x)$ ist eine unscharfe Menge $C = A \cap B$ mit der Zugehörigkeitsfunktion

$$\mu_C(x) = \min [\mu_A(x), \mu_B(x)] \text{ mit } x \in X.$$

Die Vereinigungsmenge zweier Mengen A und B umfasst die Menge aller Elemente, die zu A oder zu B gehören. Die Durchschnittsmenge zweier Mengen A und B beinhaltet alle Elemente, die zu A und B gehören. Die Komplementmenge einer Menge A über der Grundmenge X enthält alle Elemente, die

¹⁶⁶ Vgl. Zadeh (1975a), S. 206 - 207 und die Ausführungen im Kapitel 4.1.5

¹⁶⁷ Vgl. Zadeh (1965a), S. 340 - 341

zur Grundmenge X und nicht zur Menge A gehören.¹⁶⁸ Wird die Theorie der unscharfen Mengen als Verallgemeinerung der zweiwertigen Logik betrachtet, entspricht die Vereinigung dem logischen Operator „inklusive oder“, die Durchschnittsbildung dem logischen Operator „logisches und“ und das Komplement dem logischen Operator „Verneinung“.¹⁶⁹

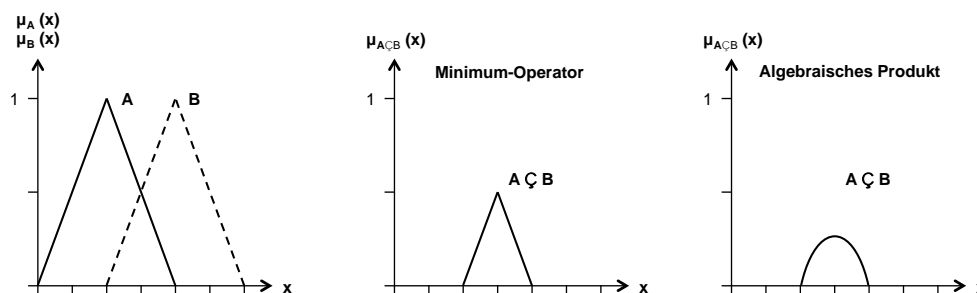
Das *algebraische Produkt* stellt eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung des Durchschnitts von unscharfen Mengen dar und ist für die unscharfen Mengen A und B mit den Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_A(x)$ und $\mu_B(x)$ definiert als

$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \text{ mit } x \in X.$$

Die *algebraische Summe* stellt eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der Vereinigung von unscharfen Mengen dar und ist für die unscharfen Mengen A und B mit den Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_A(x)$ und $\mu_B(x)$ definiert als

$$\mu_{A \cup B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) \text{ mit } x \in X.^{170}$$

Abbildungung 10, Abbildung 11 und Abbildung 12 verdeutlichen die Wirkungsweisen der beschriebenen Verknüpfungsoperatoren beispielhaft für die unscharfen Mengen A und B .



Abbildungung 10: UND-Verknüpfung der unscharfen Mengen A und B mit dem Minimum-Operator und dem Algebraischen Produkt (Quelle: in Anlehnung an Kiendl (1997), S. 114)

¹⁶⁸ Vgl. Lehmann; Weber; Zimmermann (1992), S. 2 und Biewer (1997), S. 52

¹⁶⁹ Vgl. Zimmermann (1993), S. 16

¹⁷⁰ Vgl. Kiendl (1997), S. 112 - 113 und Zadeh (1965a), S. 344

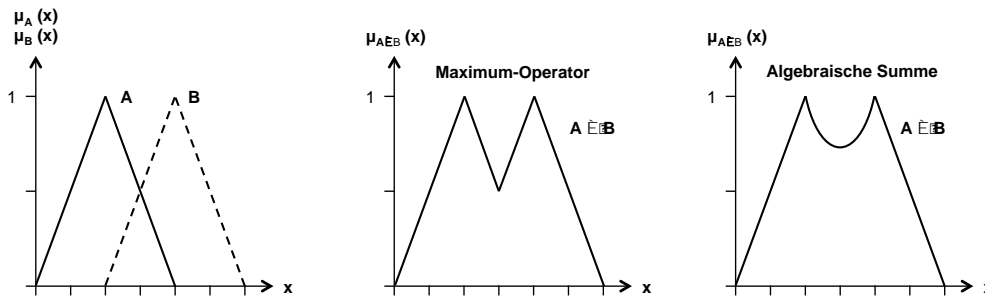


Abbildung 11: ODER-Verknüpfung der unscharfen Mengen A und B mit dem Maximum-Operator und der Algebraischen Summe (Quelle: in Anlehnung an Kiendl (1997), S. 114)

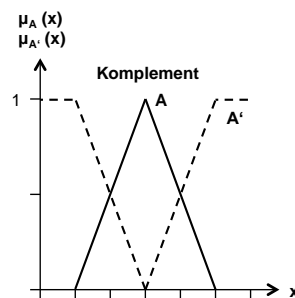


Abbildung 12: Unscharfe Menge A und ihr Komplement A'
(Quelle: in Anlehnung an Kiendl (1997), S. 114)

Seit der Begründung der Fuzzy Set Theorie wurden mit deren Anwendung und Weiterentwicklung neben den bereits dargestellten Operatoren zahlreiche alternative oder ergänzende Definitionen mengentheoretischer Operationen für die Verknüpfung unscharfer Mengen vorgeschlagen.¹⁷¹ Sie unterscheiden sich zum einen hinsichtlich ihrer Allgemeingültigkeit beziehungsweise Anpassungsfähigkeit, wobei Ausprägungen von spezifisch ausgerichteten, nicht adaptierbaren Operatoren über parametrisierte und anpassungsfähige Operatoren bis zu allgemeinen Operatorenklassen, welche gewissen Eigenschaften genügen, existieren. Zum anderen unterscheiden sich diese Operatoren bezüglich des Grades ihrer Rechtfertigung, der von intuitiver Argumentation bis zu empirischer oder axiomatischer Untersetzung reicht.¹⁷²

¹⁷¹ Unabhängig davon begründen die elementaren Konzepte der Mengenoperationen von Zadeh einen konsistenten Rahmen für die Theorie der unscharfen Mengen (vgl. Zimmermann (2001), S. 16). Bellman; Giertz und Fung; Fu führen mathematische Beweise für die Richtigkeit des Minimum- und Maximum-Operators zur Verknüpfung unscharfer Mengen (vgl. Bellman; Giertz (1973), S. 151 und Fung; Fu (1975), S. 253 - 254).

¹⁷² Vgl. Zimmermann (2001), S. 29

Grundsätzlich können Fuzzy-Operatoren in die Klassen der T-Normen, der Co-T-Normen und der kompensatorischen Normen unterteilt werden.¹⁷³ T-Normen¹⁷⁴ bezeichnen die mathematischen Modelle für die mengentheoretische Schnittmenge beziehungsweise das „logische und“, Co-T-Normen¹⁷⁵ bezeichnen die mathematischen Modelle für die mengentheoretische Vereinigung beziehungsweise das „logische inklusive oder“.¹⁷⁶ Kompensatorische Operatoren können Verknüpfungen von unscharfen Mengen zwischen T-Normen und Co-T-Normen modellieren.¹⁷⁷ Verschiedene empirische Untersuchungen¹⁷⁸ bezüglich des Verknüpfungsverhaltens des Menschen haben gezeigt, dass die in der menschlichen Sprache genutzten Operatoren „und“ und „oder“ zu den logischen Operatoren häufig nicht gleichwertig sind, sondern kompensatorisch verwendet werden. Hierbei kann eine schwächere Zugehörigkeit zu einer Menge zum Teil durch eine ausgeprägte Zugehörigkeit zu einer anderen Menge kompensiert werden.¹⁷⁹ Im Gegensatz hierzu erfolgt einerseits

¹⁷³ Bei der Definition von Fuzzy-Operatoren wird grundsätzlich gefordert, dass bezüglich der klassischen Mengen die gleichen Ergebnisse generiert werden wie mit den klassischen Mengenoperatoren und weiterhin möglichst viele Gesetzmäßigkeiten der klassischen Mengenalgebra gewahrt bleiben. Darstellungen grundlegender Mengeneigenschaften, Mengenrelationen und Mengenoperationen sowie der Gesetze der klassischen Mengenalgebra finden sich beispielsweise bei Biewer (vgl. Biewer (1997), S. 51 - 53). Mathematische Untersuchungen haben gezeigt, dass die vollständige Umsetzung der Eigenschaften der Booleschen Algebra nicht möglich ist. Allein mathematisch kann die Frage nach der Auswahl der zu bewahrenden Eigenschaften nicht beantwortet werden, wünschenswert ist es aber beispielsweise, dass Fuzzy-Operatoren kommutativ und assoziativ sowie monoton sind. Erfüllen Operatoren diese Forderungen, werden sie den T-Normen beziehungsweise Co-T-Normen zugeordnet (vgl. Biewer (1997), S. 83, Dubois; Prade (1988), S. 18, 78, Kruse; Gebhardt; Klawonn (1995), S. 23 - 24 oder Zimmermann (1993), S. 23 - 24).

¹⁷⁴ Das T steht für triangulär.

¹⁷⁵ Statt der Bezeichnung Co-T-Normen wird auch die Bezeichnung S-Normen verwendet (vgl. beispielsweise Zimmermann (2001), S. 30, Kiendl (1997), S. 160, Lehmann; Weber; Zimmermann (1992), S. 2, Biewer (1997), S. 84).

¹⁷⁶ T-Normen und Co-T-Normen stehen im Sinne der logischen Dualität in folgender Beziehung: $t(\mu_A(x), \mu_B(x)) = 1 - s(1 - \mu_A(x), 1 - \mu_B(x))$. Daraus folgt, dass jede Co-T-Norm aus einer T-Norm erzeugt werden kann (vgl. Zimmermann (2001), S. 31).

¹⁷⁷ Vgl. Zimmermann (1993), S. 19. Für T-Normen bildet das Minimum eine Obergrenze, für Co-T-Normen bildet das Maximum eine Untergrenze. Das heißt für alle $x, y \in [0,1]$ gilt: $\min(x, y) \geq t(x, y)$ und $\max(x, y) \leq s(x, y)$. T-Normen und Co-T-Normen können somit keine Werte zwischen Minimum und Maximum annehmen (vgl. Biewer (1997), S. 84, 87). Kompensatorische Operatoren können durch geeignete Überlagerung eines Und-Operators mit einem Oder-Operator erzeugt werden (vgl. Kiendl (1997), S. 183).

¹⁷⁸ Vgl. beispielsweise Rödder (1975), Thole; Zimmermann; Zysno (1979) und Hersh; Caramazza (1976)

¹⁷⁹ Vgl. Lehmann; Weber; Zimmermann (1992), S. 2

durch die Interpretation menschlicher Entscheidungen im Sinne einer Schnittmengenverknüpfung unscharfer Mengen keine Kompensation zwischen den Zugehörigkeitsgraden der betrachteten unscharfen Mengen. Andererseits tritt bei der Interpretation menschlicher Entscheidungen als Vereinigungsverknüpfung eine vollständige Kompensation der niedrigen Zugehörigkeitsgrade ein. Eine adäquate Modellierung unscharfer Mengen zur Abbildung von menschlichen Entscheidungen scheint somit durch diese Operatoren nicht gegeben zu sein. Während die Schnittmengenoperatoren zwischen Null und dem minimalen Zugehörigkeitsgrad der verknüpften unscharfen Mengen abbilden und die Vereinigungsoperatoren zwischen dem maximalen Zugehörigkeitsgrad der verknüpften unscharfen Mengen und Eins, liegt der Abbildungsbereich der kompensatorischen Operatoren zwischen den minimalen und maximalen Zugehörigkeitsgraden der zu verknüpfenden unscharfen Mengen.¹⁸⁰ In diesem Zusammenhang konnte für den kompensatorischen γ -Operator¹⁸¹ beispielsweise in einer empirischen Untersuchung eine höhere Übereinstimmung zwischen den mit diesem Operator ermittelten Zugehörigkeitswerten und den von Versuchspersonen erfragten Zugehörigkeitswerten nachgewiesen werden.¹⁸² Tabelle 5 und Tabelle 6 zeigen eine Auswahl typischer T-Normen, Co-T-Normen und kompensatorischer Operatoren.¹⁸³ Für alle drei Klassen von Operatoren wurden sowohl parametrisierte als auch nicht-parametrisierte Formen vorgeschlagen.

¹⁸⁰ Vgl. Zimmermann; Zysno (1980), S. 39

¹⁸¹ Der γ -Operator wurde von Zimmermann und Zysno im Sinne eines „kompensatorischen Und“ vorgeschlagen (vgl. Zimmermann; Zysno (1980), S. 44).

¹⁸² Vgl. Zimmermann (1982), S. 375. Allerdings darf daraus nicht verallgemeinernd geschlossen werden, dass der γ -Operator zur Modellierung menschlicher Entscheidungen besonders angemessen oder kognitiv adäquater als andere Operatoren ist (vgl. Biewer (1997), S. 118 und die Ausführungen in Kapitel 6.3.2.2).

¹⁸³ Einen Überblick zu den mathematischen Eigenschaften ausgewählter Fuzzy-Operatoren hinsichtlich der Erfüllung der klassischen mengenalgebraischen Gesetze finden sich bei Biewer und Kiendl (vgl. Biewer (1997), S. 87 und Kiendl (1997), S. 164 - 171).

Tabelle 5: Schnittmengen- und Vereinigungs-Operatoren

(in Anlehnung an Biewer (1997), S. 85, 88 und Zimmermann (2001), S. 40)

Schnittmengen-Operatoren (T-Normen)	Vereinigungs-Operatoren (Co-T-Normen)	Literaturhinweis
nicht-parametrisiert		
Minimum-Operator: $\min \{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$	Maximum-Operator: $\max \{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$	Zadeh (1965a)
algebraisches Produkt: $\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$	algebraische Summe: $\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)$	Zadeh (1965a)
beschränkte Differenz: $\max \{0, \mu_A(x) + \mu_B(x) - 1\}$	beschränkte Summe: $\min \{1, \mu_A(x) + \mu_B(x)\}$	Giles (1976)
Hamacher-Produkt: $\frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)},$ falls $x, y \neq 0$; 0 sonst	Hamacher-Summe: $\frac{\mu_A(x) + \mu_B(x) - 2 \cdot \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{1 - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)};$ falls $x, y \neq 1$; 1 sonst	Hamacher (1978)
Einstein-Produkt: $\frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{1 + (1 - \mu_A(x)) \cdot (1 - \mu_B(x))}$	Einstein-Summe: $\frac{\mu_A(x) + \mu_B(x)}{1 + \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$	Mizumoto (1981a und 1981b)
drastisches Produkt: $\min \{\mu_A(x), \mu_B(x)\};$ falls $\max \{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = 1$; 0 sonst	drastische Summe: $\max \{\mu_A(x), \mu_B(x)\};$ falls $\min \{\mu_A(x), \mu_B(x)\} = 0$; 1 sonst	Dubois & Prade (1980a)
parametrisiert¹⁸⁴		
Hamacher-Schnittmengen-Operator: $\frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{p + (1 - p) \cdot (\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x))}$	Hamacher-Vereinigungs-Operator: $\frac{\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) - (1 - p) \cdot \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{1 - (1 - p) \cdot \mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$	Hamacher (1978)
Yager-Schnittmengen-Operator: $1 - \min(1, ((1 - \mu_A(x))^p + (1 - \mu_B(x))^p)^{1/p})$	Yager-Vereinigungs-Operator: $\min(1, (\mu_A(x)^p + \mu_B(x)^p)^{1/p})$	Yager (1980)
Dubois & Prade-Schnittmengen-Operator: $\frac{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}{\max(\mu_A(x), \mu_B(x), p)}$	Dubois & Prade-Vereinigungs-Operator: $\frac{\mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) - \min(\mu_A(x), \mu_B(x), (1 - p))}{\max((1 - \mu_A(x)), (1 - \mu_B(x)), p)}$	Dubois & Prade (1980b und 1982)

¹⁸⁴ p bezeichnet den Parameter der Operatoren.

Tabelle 6: Kompensatorische Operatoren

(in Anlehnung an Biewer (1997), S. 90 und Zimmermann (2001), S. 40)

Kompensatorische Operatoren	Literaturhinweis
nicht-parametrisiert	
arithmetisches Mittel: $\frac{\mu_A(x) + \mu_B(x)}{2}$	Dubois & Prade (1988)
geometrisches Mittel: $\sqrt{\mu_A(x) \cdot \mu_B(x)}$	Dubois & Prade (1988)
symmetrischer Summenoperator: ¹⁸⁵ $\frac{g(\mu_A(x), \mu_B(x))}{g(\mu_A(x), \mu_B(x)) + g(1 - \mu_A(x), 1 - \mu_B(x))}$	Silvert (1979)
parametrisiert ¹⁸⁶	
Fuzzy-Und: $p \cdot \min(\mu_A(x), \mu_B(x)) + \frac{(1 - p) \cdot (\mu_A(x) + \mu_B(x))}{2}$	Werners (1988)
Fuzzy-Oder: $p \cdot \max(\mu_A(x), \mu_B(x)) + \frac{(1 - p) \cdot (\mu_A(x) + \mu_B(x))}{2}$	Werners (1988)
γ-Operator $(\mu_A(x) \cdot \mu_B(x))^{1-\gamma} \cdot (1 - (1 - \mu_A(x)) \cdot (1 - \mu_B(x)))^\gamma$	Zimmermann & Zysno (1980)
Ordered Weight Averaging Operator: ¹⁸⁷ $\sum_j w_j \cdot \mu_j(x)$	Yager (1988)

Abbildung 13 verdeutlicht die unterschiedlichen Abbildungsbereiche der Operatoren beziehungsweise der Operatorenklassen.

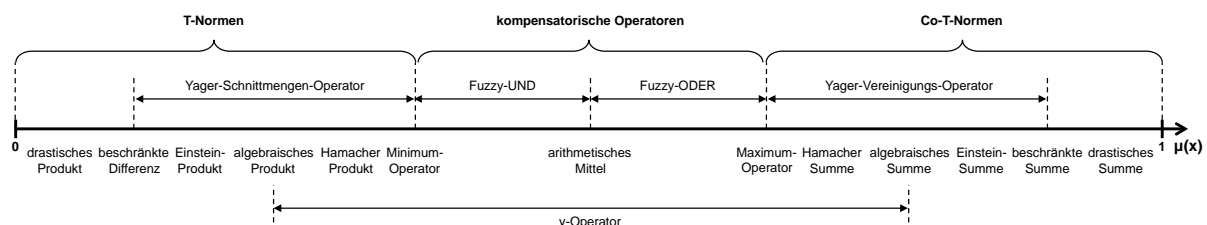


Abbildung 13: Abbildungsbereiche ausgewählter Fuzzy-Operatoren (Quelle: in Anlehnung an Jaanineh; Majjohann (1996), S. 93, 105 und Momsen (2006), S. 235)

Die Vielzahl der existierenden alternativen Operatoren führt bei der Modellierung von spezifischen Systemen oder Problemstellungen zu der Frage, welche Operatoren für den abzubildenden Kontext am besten geeignet sind. Bedeutende Kriterien für die Bewertung und Auswahl sind die algebraischen Eigen-

¹⁸⁵ g ist eine nicht-negative, stetige, monoton steigende, erzeugende Funktion (vgl. Silvert (1979), S. 658).

¹⁸⁶ γ und p bezeichnen die Parameter der Operatoren.

¹⁸⁷ w ist ein Vektor von Gewichtungen w_j mit $w_j \in [0, 1]$ und $\sum_i w_i = 1$, $f_j(x)$ ist der j -est größte Zugehörigkeitswert des Elementes x der zu aggregierenden Zugehörigkeitswerte (vgl. Yager (1988), S. 184-185).

schaften sowie inhaltliche und pragmatische Merkmale der Operatoren.¹⁸⁸ Die nachfolgenden, nicht in jedem Fall voneinander unabhängigen Bewertungsfaktoren geben Hilfestellung bei der Auswahl eines geeigneten Operators. Zu einer eindeutigen Entscheidung werden diese allerdings in der Regel auch nicht verhelfen können.¹⁸⁹

Axiomatische Stärke

Unter diesem Gesichtspunkt ist ein Operator als vorteilhafter zu bewerten, je weniger einschränkend die Axiome sind, die durch den Operator erfüllt werden.

Reale Angemessenheit

Neben axiomatischen und formalen Anforderungen an die Operatoren ist für die praktische Anwendung das Verknüpfungsverhalten der Operatoren zur Modellierung von realen Situationen oder Systemen von besonderer Bedeutung. Dieses sollte dem Verhalten der abzubildenden realen Gegebenheiten möglichst gut entsprechen. Eine Aussage über die tatsächliche reale Angemessenheit eines Operators kann nur durch empirische Untersuchungen getroffen werden.¹⁹⁰

Anpassungsfähigkeit

Das Aggregationsverhalten der Operatoren ist vom Kontext abhängig. Sollen nur wenige Operatoren in unterschiedlichen Kontexten eingesetzt werden, so kann durch entsprechende Parametrisierung der Operatoren eine Anpassung an die unterschiedlichen Kontexte erfolgen.

Rechnerische Effizienz

In Abhängigkeit der Anwendung, in denen die Operatoren eingesetzt werden, eignen sich diese auf Grund des damit zusammenhängenden Rechenaufwandes unterschiedlich gut. Bei zeitkritischen Anwendungen oder sehr umfangreichen Problemstellungen ist die rechnerische Effizienz der Operatoren von größerer Bedeutung als bei zeitunkritischen Anwendungen wie Expertensys-

¹⁸⁸ Vgl. Biewer (1997), S. 105

¹⁸⁹ Vgl. Zimmermann (2001), S. 43 - 44 und Zimmermann (1993), S. 24 - 28 und die Ausführungen in Kapitel 6.3.2.2.

¹⁹⁰ Vgl. hierzu auch die Ausführungen weiter vorn und in Kapitel 6.3.2.2

temen, die ihrerseits eine größere Qualität bei der Abbildung empirischen Wissens verlangen.

Kompensation

Die vielfach gegebene Divergenz zwischen der Art der Verknüpfung bei menschlichen Entscheidungen und dem „logischen Und“ wurde bereits weiter oben dargestellt. Menschliche Entscheidungen enthalten in der Regel kompensatorische Effekte, welche ein weniger befriedigendes Merkmal bei Vorhandensein eines anderen hervorstechenden Merkmals teilweise ausgleichen können.

Spannweite der Kompensation

Grundsätzlich gilt, je größer der Bereich der Kompensation des Operators ist, desto vorteilhafter ist dieser einzuschätzen. Beachtet werden muss, dass die Operatoren entsprechend ihrer Charakteristika in unterschiedlichen Bereichen kompensieren können und daher hinsichtlich des Anwendungszweckes eine adäquate Auswahl getroffen werden muss.

Aggregationseigenschaften

Der Zugehörigkeitsgrad aggregierter Mengen ist häufig von der Anzahl der aggregierten unscharfen Mengen abhängig. Bei der Verknüpfung unscharfer Mengen, beispielsweise mit dem Produkt-Operator, wird durch jede weitere einbezogene unscharfe Menge der resultierende Zugehörigkeitsgrad kleiner. Für viele Anwendungssituationen ist dieses Ergebnis der Aggregation nicht angemessen.

Skalenniveau

Bei der Auswahl von Operatoren ist das Skalenniveau der Informationen beziehungsweise der zu verarbeitenden unscharfen Mengen zu beachten. Bei sonst gleichen Eigenschaften der Operatoren sollte derjenige Operator gewählt werden, der das niedrigste Skalenniveau erfordert, ohne dabei aber seine mathematische Zulässigkeit zu verlieren.

Neben dem Auswahlproblem muss bei den parametrisierten Operatoren zusätzlich über die Einstellung der Parameter entschieden werden. Die Ermittlung eines geeigneten Parameterwertes kann beispielsweise durch die Ablei-

tung von Schätzfunktionen aus den Funktionsgleichungen der parametrisierten Operatoren geschehen. Auf der Basis vorhandener empirischer Verknüpfungswerte, die in die Funktionsgleichungen eingesetzt werden, kann durch Auflösen der Funktionsgleichung nach dem Parameter eine Menge geeigneter Parameterwerte ermittelt werden. Mit Hilfe des arithmetischen Mittels können diese Parameterwerte für die empirisch bekannten Daten zu einem insgesamt geeigneten, aber nicht zwingend optimalen Parameterwert aggregiert werden.¹⁹¹

4.1.4 Fuzzy-Relationen

Die Fuzzy-Mengen wurden bisher auf einer einfachen Grundmenge X dargestellt. Fuzzy-Relationen sind spezielle Fuzzy-Mengen und bezeichnen Teilmengen des Kartesischen Produktes von n unscharfen Grundmengen X_1, \dots, X_n , die miteinander in Beziehung stehen. Die Fuzzy Relation R ist über eine Zugehörigkeitsfunktion $\mu_R: X_1 \times \dots \times X_n \rightarrow [0, 1]$ charakterisiert, die jedem n -Tupel der Relation R einen Zugehörigkeitsgrad $\mu_R(x_1, \dots, x_n)$ aus dem Intervall $[0, 1]$ zuordnet.¹⁹² Beispiele für eine vergleichende unscharfe Relation sind Ausdrücke wie „ungefähr gleich“, „wesentlich größer“ oder „viel kleiner“.¹⁹³ Relationen können auch zur Modellierung von „WENN...DANN“-Beziehungen eingesetzt werden und haben damit für praktische Anwendungen eine große Bedeutung.¹⁹⁴ In Abhängigkeit vom Relationstyp und vom Anwendungszweck kann die Darstellung unscharfer Relationen in Form von Funktionen, Relationsmatrizen, Listen oder Vektoren sowie graphisch durch Pfeildiagramme erfolgen.¹⁹⁵ Anhand des folgenden Beispiels soll der Begriff der Relation verdeutlicht werden:¹⁹⁶

¹⁹¹ Vgl. Zimmermann, Zysno (1980), S. 48 und Biewer (1997), S. 115 - 116

¹⁹² Vgl. Biewer (1997), S. 160 - 161

¹⁹³ Vgl. Bronstein et. al. (2008), S. 423

¹⁹⁴ Vgl. Kahlert; Frank (1994), S. 32, 34

¹⁹⁵ Vgl. Biewer (1997), S. 161 - 163

¹⁹⁶ Vgl. Kahlert; Frank (1994), S. 32

Zwischen der Farbe x und dem Reifegrad y einer Frucht wird in der Regel ein Zusammenhang gesehen. Diese Beziehung kann für die Farben $X = \{\text{grün, gelb, rot}\}$ und den Reifegrad $Y = \{\text{unreif, halbreif, reif}\}$ wie folgt in einer Tabledarstellung der Relationsmatrix R modelliert werden:

Tabelle 7: Relationsmatrix R

(Quelle: Kahlert; Frank (1994), S. 32)

R:	$x \setminus y$	unreif	halbreif	reif
	grün	1	0,5	0
	gelb	0,3	1	0,3
	rot	0	0,5	1

WENN eine Frucht rot ist, DANN wird sie in diesem Beispiel als reife Frucht interpretiert, was sich in einem Zugehörigkeitsgrad von 1 in der Farbe-Reifegrad-Relation widerspiegelt. Mit einem Zugehörigkeitsgrad von 0,5 kann eine rote Frucht auch als halbreife Frucht angesehen werden, um beispielsweise den unterschiedlichen Rottönen und den damit verknüpften Erfahrungswerten bezüglich des Reifegrades einer Frucht gerecht zu werden.

Auf Fuzzy-Relationen können die bereits vorgestellten mengentheoretischen Operationen für Fuzzy-Mengen angewendet werden. Die Schnittmenge und die Vereinigung der Fuzzy-Relationen R und Z sind bei Anwendung des Minimum- beziehungsweise des Maximum-Operators durch folgende Zugehörigkeitsfunktion definiert:¹⁹⁷

$$\mu_{R \cap Z}(x, y) = \min\{\mu_R(x, y), \mu_Z(x, y)\}, (x, y) \in X \times Y,$$

$$\mu_{R \cup Z}(x, y) = \max\{\mu_R(x, y), \mu_Z(x, y)\}, (x, y) \in X \times Y.$$

Darüber hinaus existieren spezielle relationale Operatoren für unscharfe Relationen, die beispielsweise für die Modellierung verschiedener Formen approximativen Schließens geeignet sind. Aus diesen Möglichkeiten der Verkettung

¹⁹⁷ Vgl. Zimmermann (2001), S. 73

von unscharfen Relationen ergibt sich die besondere Bedeutung unscharfer Relationen für die Theorie unscharfer Mengen.¹⁹⁸

4.1.5 Fuzzy-Logik und menschliches Schließen

Die Verarbeitung der Wahrheitswerte von Aussagen als linguistische Werte der linguistischen Variablen „Wahrheit“ führt über die Theorie der unscharfen Mengen durch die Verallgemeinerung der zweiwertigen Logik zur Fuzzy-Logik.¹⁹⁹ Die Fuzzy-Logik kann als ein logisches System zur Anwendung effektiver Formen des Schließens durch Imitation und Formalisierung der Fähigkeiten des menschlichen Verstandes aufgefasst werden.²⁰⁰ Einfacher ausgedrückt, lässt sich Fuzzy-Logik als eine Logik des approximativen Schließens charakterisieren.²⁰¹ Zadeh versteht unter approximativem Schließen eine weder exakte noch sehr ungenaue Form des Schließens.²⁰² Die Bedeutung der Fuzzy-Logik ergibt sich aus der Tatsache, dass die meisten Formen des menschlichen Schließens eher einen annähernden Charakter haben, als dass diese exakt sind und sie damit der Logik menschlicher Entscheidungsprozesse näher kommt als die klassische zweiwertige Logik.²⁰³ Sie unterscheidet sich erheblich von den traditionellen logischen Systemen wie der klassischen Logik, der induktiven Logik oder der mehrwertigen Logik und deren Mathematisierungsansätzen des menschlichen Denkens.²⁰⁴ Zu den wesentlichen Unterschieden zählen²⁰⁵:

¹⁹⁸ Vgl. Biewer (1997), S. 167. Zu den relationalen Operatoren gehören die unscharfe Umkehrrelation, das erweiterte Kartesische Produkt, die Sup-Min-Verkettung, die Sup-*-Verkettung, die Projektion, die Zylindererweiterung, die natürliche und die Θ -Verbindung sowie die Restriktion (vgl. ebenda, S. 167 - 175).

¹⁹⁹ Vgl. Zadeh (1975a), S. 199

²⁰⁰ Vgl. Zadeh (1994), S. 77 - 78. Im weiteren Sinne wird der Begriff Fuzzy-Logik heute auch zunehmend synonym zum Begriff Fuzzy Set Theorie verwendet (ebenda, S. 77).

²⁰¹ Vgl. Zadeh (1975d), S. 407

²⁰² Vgl. Zadeh (1975a), S. 199. Zadehs Theorie des approximativen Schließens soll die Ableitung unpräziser Schlussfolgerungen aus einer Menge unpräziser Prämissen ermöglichen (vgl. Zadeh (1987), S. 367).

²⁰³ Vgl. Zadeh (1989), S. 89

²⁰⁴ Vgl. Zadeh (1975d), S. 407 - 408, 425

²⁰⁵ Vgl. Zadeh (1989), S. 89 - 90

- Die klassische zweiwertige Logik kennt nur die Wahrheitswerte wahr und falsch. Bei mehrwertigen logischen Systemen können die Wahrheitswerte Elemente von endlichen Mengen, von Intervallen oder der Booleschen Algebra sein. In der Fuzzy-Logik können die Wahrheitswerte als unscharfe Teilmengen einer partiell geordneten Menge im Einheitsintervall $[0, 1]$ beziehungsweise als Punkt in diesem Intervall dargestellt werden. Die linguistischen Werte bilden die Namen der unscharfen Teilmengen der linguistischen Variablen Wahrheit.
- In der zweiwertigen Logik sind nur exakte Prädikate²⁰⁶ in Aussagen zulässig, während in der Fuzzy-Logik der natürlichen Sprache entsprechende unscharfe Prädikate, wie „groß“, „schlecht“, „bald“ oder „schnell“, möglich sind.
- Während in klassischen logischen Systemen nur der Einsatz der Negation „nicht“ als Modifikator verbreitet ist, bietet die Fuzzy-Logik vielfältige Modifikatoren für Prädikate, beispielweise „sehr“, „mehr oder weniger“, „ziemlich“, „eher“ oder „extrem“.
- In klassischen logischen Systemen sind nur zwei Arten von Quantoren zulässig, der Existenz- und der Allquantor. Die Fuzzy-Logik erlaubt ergänzend eine Vielzahl unscharfer Quantoren, welche als unscharfe Zahlen oder unscharfe Proportionen interpretiert werden. Beispiele sind „wenig“, „einige“, „gewöhnlich“, „meistens“, „fast immer“ und „häufig“.
- Neben der numerischen oder intervallwertigen Darstellung von Wahrscheinlichkeiten in klassischen logischen Systemen bietet die Fuzzy-Logik die zusätzliche Möglichkeit der Darstellung von linguistischen beziehungsweise unscharfen Wahrscheinlichkeiten²⁰⁷, zum Beispiel „wahrscheinlich“, „unwahrscheinlich“, „sehr wahrscheinlich“, „ungefähr 0,8“ oder „hoch“. Diese können mit Hilfe der Fuzzy Arithmetik verarbeitet werden.
- Die Fuzzy-Logik ermöglicht zusätzlich zur Verarbeitung unscharfer Wahrscheinlichkeiten die Handhabung unscharfer Ereignisse, beispielsweise „Morgen wird ein warmer Tag“, wobei „warm“ ein unscharfes Prädikat ist.

²⁰⁶ In der Logik bezeichnet der Begriff Prädikat eine Eigenschaft eines Objektes (vgl. Kelly (2003), S. 153).

²⁰⁷ Aus frequentistischer Sicht besteht eine Austauschbarkeit zwischen unscharfen Wahrscheinlichkeiten und unscharfen Quantifikatoren. Jede unscharfe Wahrscheinlichkeiten enthaltende Aussage kann in äquivalenter Form durch eine unscharfe Quantifikatoren enthaltende Aussage ausgedrückt werden (vgl. Zadeh (1989), S. 90).

Die Wahrscheinlichkeit eines unscharfen Ereignisses kann eine genaue oder eine unscharfe Zahl sein.

- Im Gegensatz zur klassischen zweiwertigen Modallogik ermöglicht das Konzept der Possibilität innerhalb der unscharfen Logik abgestufte Werte, die in gleicher Weise wie Wahrscheinlichkeiten als linguistische Variablen mit linguistischen Werten wie „möglich“, „ziemlich möglich“ oder „nahezu unmöglich“ dargestellt werden können.²⁰⁸

Die Fuzzy-Logik ist als Erweiterung der klassischen logischen Systeme zu betrachten und nicht als konkurrierendes System des Schließens.²⁰⁹ Gegen die Konzepte Zadehs zur Fuzzy-Logik können aus mathematisch-logischer und psychologisch-linguistischer Sicht Kritikpunkte vorgebracht werden. Beispielsweise besitzen die Konzepte in vielen Fällen nicht die Vollständigkeit und die Korrektheit, wie diese von der modernen mathematischen Logik gefordert werden. Dennoch bietet die Fuzzy-Logik mit einem reichhaltigen und instruktiven Repertoire an Repräsentationstechniken und Inferenzschemata im Vergleich zu den klassischen logischen Systemen einerseits für viele formal bisher nicht erschlossene Fragestellungen kognitiv adäquatere Möglichkeiten zur Modellierung von Unbestimmtheit und andererseits eine bessere formale Begründung als die in wissensbasierten Systemen häufig eingesetzten heuristischen Methoden.²¹⁰

4.2 Fuzzy Set Theorie und Wahrscheinlichkeitstheorie im anwendungsbezogenen Vergleich

Mit der Begründung der Fuzzy Set Theorie begann eine kontroverse Diskussion über deren Nutzen und den Unterschied im Vergleich zur vorherrschenden wahrscheinlichkeitstheoretischen Darstellung von Unbestimmtheit. In zahlreichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurde in diesem Zusammenhang eine Vielzahl von Fragen umfassend thematisiert, wie beispielsweise: Was sind die Beziehungen zwischen Fuzzy Set Theorie und Wahrscheinlichkeits-

²⁰⁸ Das Konzept der Possibilitätsverteilung spielt eine zentrale Rolle in der unscharfen Logik (vgl. Zadeh (1989), S. 90 und die dort angegebene Literatur).

²⁰⁹ Vgl. Zadeh (1989), S. 90

²¹⁰ Vgl. Biewer (1997), S. 329, 331

theorie? Ist die Fuzzy Set Theorie der Wahrscheinlichkeitstheorie untergeordnet oder umgekehrt? Bietet die Fuzzy Set Theorie im Vergleich zur Wahrscheinlichkeitstheorie adäquatere Möglichkeiten der Modellierung von Unbestimmtheit? Ist die Fuzzy Set Theorie eine verschleierte Form der Wahrscheinlichkeitstheorie? Worin bestehen die Schwächen der Wahrscheinlichkeitstheorie als Methode zur Verarbeitung von Unbestimmtheit?²¹¹ Auf eine ausführliche Diskussion der mathematisch-theoretischen Unterschiede beider Ansätze zur Verarbeitung von Unbestimmtheit wird im Rahmen dieser Arbeit verzichtet.²¹² Vielmehr ist es das Ziel dieses Kapitels, die aus diesen theoretischen Ansätzen resultierenden grundsätzlichen Unterschiede in den Anwendungsmöglichkeiten von Fuzzy Set Theorie und Wahrscheinlichkeitstheorie darzustellen und dadurch die Berechtigung der Existenz sowie den Nutzen und die Potentiale der Anwendung der Fuzzy Set Theorie zur Modellierung von Entscheidungssituationen zu verdeutlichen.

Die Fuzzy Set Theorie und die Wahrscheinlichkeitstheorie haben grundsätzlich verschiedene Vorgehensweisen und unterschiedliche Anwendungsbereiche.²¹³ Die Fuzzy Set Theorie ermöglicht die Modellierung jener Arten von Unbestimmtheit, deren Existenz in einer unmöglichen oder wenig sinnvollen scharfen Klassifikation von Objekten begründet ist. Sie ist keine unscharfe Theorie, sondern als mathematische Theorie der Unschärfe zu verstehen. Sie bietet die Möglichkeit, die im artikulierten Wissen enthaltene Unschärfe in mathematischen Funktionen zu überführen und für die Modellbildung nutzbar zu machen. Im Gegensatz dazu ist für die Arten von Unbestimmtheit, welche mit der Wahrscheinlichkeitstheorie modelliert werden können, die Frage ausschlaggebend, ob ein bestimmtes Ereignis eintreten kann oder nicht.²¹⁴ Die Darstellung unscharfer Mengen durch Zugehörigkeitsfunktionen wird häufig mit den Dichtefunktionen oder Verteilungsfunktionen der Wahrscheinlichkeitstheorie verwechselt.²¹⁵ Trotz der Ähnlichkeit der Zugehörigkeitsfunktionen von

²¹¹ Vgl. Zadeh (1995), S. 805 und die dort angegebene Literatur

²¹² Die für das Verständnis erforderlichen theoretischen Grundlagen der Fuzzy Set Theorie wurden in den voranstehenden Kapiteln skizziert. Soweit es für die Darstellung der Zusammenhänge erforderlich ist, werden die notwendigen theoretischen Grundlagen zur Wahrscheinlichkeitstheorie an den entsprechenden Stellen beschrieben.

²¹³ Vgl. Zadeh (1995), S. 805

²¹⁴ Vgl. Biewer (1997), S. 56 - 57

²¹⁵ Vgl. Zimmermann (1993), S. 11

unscharfen Mengen mit den Wahrscheinlichkeitsfunktionen, existieren grundlegende Unterschiede zwischen diesen Konzepten. Unscharfe Mengen sind grundsätzlich von nicht-statistischem Charakter.²¹⁶

4.2.1 Interpretation von Wahrscheinlichkeiten

Der Begriff der mathematischen Wahrscheinlichkeit war zu Beginn des 20. Jahrhunderts noch ungeklärt. Kolmogoroff verknüpfte den Begriff der Wahrscheinlichkeit mit dem Begriff des normierten Maßes²¹⁷, wodurch es ihm gelang, auch Zufallsvariablen als messbare Abbildungen und deren Erwartungswerte als Integral beschreiben zu können.²¹⁸ Mit seinem 1933 veröffentlichten Beitrag begründete er die Wahrscheinlichkeitstheorie, nach der die Wahrscheinlichkeit folgende Bedingungen erfüllen muss:²¹⁹

1. die Wahrscheinlichkeit p eines Ereignisses A_i ist $p(A_i) \geq 0$ für alle i ,
2. die Wahrscheinlichkeit des sicheren Ereignisses ist eins: $\sum p(A_i) = 1$,
3. die Wahrscheinlichkeit des Eintretens von mehreren sich ausschließenden Ereignissen ist gleich der Summe der einzelnen Wahrscheinlichkeiten: $p(A_i + A_j) = p(A_i) + p(A_j)$.

Dennoch ist die Wahrscheinlichkeitstheorie heute nicht eindeutig definiert und es existieren unterschiedliche Definitionen und Axiomensysteme. Die Wahrscheinlichkeitstheorie nach Kolmogoroff ist die wohl am häufigsten genutzte Wahrscheinlichkeitstheorie. In den Wirtschaftswissenschaften findet die Wahrscheinlichkeitstheorie nach Bayes überwiegend Anwendung. Weitere gebräuchliche Wahrscheinlichkeitstheorien sind die Wahrscheinlichkeitstypen nach Koopman, Carnap oder qualitative Wahrscheinlichkeiten.²²⁰

²¹⁶ Vgl. Zadeh (1965a), S. 340

²¹⁷ Ein Maß ist eine auf einer σ -Algebra definierte, nichtnegative numerische Funktion. Der Begriff Algebra bezeichnet hierbei ein Teilgebiet der Mathematik, das sich mit der Untersuchung algebraischer Strukturen, wie beispielsweise Gruppen, Ringen, Körpern und Vektorräumen, beschäftigt. Das Präfix σ steht für ein bezüglich der Bildung abzählbarer Vereinigungen abgeschlossenes Mengensystem (vgl. Bauer (1992), S. 14 und Elstrodt (2011), S. 12 - 13).

²¹⁸ Vgl. Seising (1999), S. 129 - 130

²¹⁹ Vgl. Kolmogoroff (1933), S. 2

²²⁰ Vgl. Zimmermann (1997), S. 90 - 91

Aus den unterschiedlichen Wahrscheinlichkeitstheorien resultieren verschiedenartige Interpretationen des Wahrscheinlichkeitsbegriffs. Grundsätzlich lassen sich die subjektive und die objektive Interpretation des Wahrscheinlichkeitsbegriffs unterscheiden. Nach der subjektiven Interpretation wird Wahrscheinlichkeit als Grad des Vertrauens einer Person in das Eintreten eines Ereignisses betrachtet und als Vermutung von Personen über die Umwelt verstanden. Sie ist vom Wissensstand und der Informationsverarbeitung einer Person abhängig. Einem Ereignis können demzufolge von verschiedenen Personen unterschiedliche Wahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Daraus resultiert, dass subjektiven Wahrscheinlichkeiten die intersubjektive Nachprüfbarkeit, das heißt, die Objektivität, fehlt.²²¹ Die Schätzungen entsprechen außerdem in der Regel nicht den axiomatisch geforderten Wahrscheinlichkeitsverteilungen scharf definierter Ereignisse. Stattdessen werden Schätzungen meist unscharf formuliert.²²² Subjektive Wahrscheinlichkeiten müssen als Näherungswerte interpretiert werden, deren Näherungscharakter sich auch auf die daraus gezogenen Schlussfolgerungen überträgt.²²³ In diesem Zusammenhang ist auch fragwürdig, ob Wahrscheinlichkeiten am besten zur Erfassung subjektiver Überzeugungsgrade geeignet sind, da beispielsweise aus dem Additivitätsaxiom der Wahrscheinlichkeitstheorie folgt, dass mit der Festlegung der subjektiven Wahrscheinlichkeit für ein Ereignis gleichzeitig das Komplement dieses Ereignisses festgelegt wird. Darin ist eine große Einschränkung für die Festlegung individueller Überzeugungsgrade zu sehen.²²⁴ Objektive Wahrscheinlichkeiten werden als relative Häufigkeiten von Ereignissen bei identisch wiederholten Vorgängen oder als Gleichverteilung der Eintrittswahrscheinlichkeiten aller Elementarereignisse, wie beispielsweise beim Münzwurf oder beim Würfeln, definiert. Objektivität wird insbesondere unter Naturwissenschaftlern als wünschenswerte Eigenschaft angestrebt. Fraglich ist, ob es objektive Wahrscheinlichkeiten in der Realität wirklich geben kann,

²²¹ Vgl. Eisenführ; Weber; Langer (2010), S. 175 - 178. Zu den Wahrscheinlichkeitstheorien, die den Wahrscheinlichkeitsbegriff subjektiv interpretieren, zählen beispielsweise die Wahrscheinlichkeitstheorien von Bayes, Koopman und Carnap. Der auf die Wahrscheinlichkeitstheorie von Kolmogoroff zurückzuführende frequentistische Wahrscheinlichkeitsbegriff wird den objektiven Wahrscheinlichkeiten zugeordnet (vgl. Zimmermann (1997), S. 90 - 91).

²²² Vgl. Choobineh; Behrens (1992), S. 907 - 908

²²³ Vgl. Bandemer (1997), S. 87 - 88

²²⁴ Vgl. Dubois; Prade (1988), S. 11 und Sibbel; Lutschewitz (2004), S. 37

da sowohl identisch wiederholbare Vorgänge beziehungsweise die Gleichwahrscheinlichkeit von Elementarereignissen, als auch die Annahme, dass die zukünftigen Vorgänge den Vorgängen in der Vergangenheit gleichen, für reale Problemstellungen nicht vorausgesetzt werden können. Die Schlussfolgerung von bekannten Häufigkeiten auf unbekannte Problemstellungen stellt eine subjektive Hypothese dar, deren objektive Überprüfung nicht möglich ist. Dennoch können relative Häufigkeiten als Ausgangspunkt für die Bildung von subjektiven Wahrscheinlichkeiten in Fällen herangezogen werden, die sich in der Vergangenheit in ähnlicher Weise schon oft wiederholt haben, beispielsweise bei der Prognose von Aktienrenditen. Allerdings müssen bei vielen Entscheidungssituationen die Entscheidungen unter neuartigen Bedingungen getroffen werden oder es liegen keine gleich wahrscheinlichen Elementarereignisse vor, sodass ein Rückgriff auf relative Häufigkeiten oder gleichverteilte Wahrscheinlichkeiten in der Realität wenig hilfreich ist.²²⁵

4.2.2 Interpretation von Zugehörigkeit

Die Fuzzy Set Theorie besitzt keine eindeutig definierte mathematische Struktur. Durch die verschiedenen Typen von Zugehörigkeitsfunktionen²²⁶ und die verschiedenen möglichen Verknüpfungsoperatoren²²⁷ kann die Fuzzy Set Theorie als allgemeine Zusammenfassung von Theorien verstanden werden.²²⁸ So ist die Fuzzy Set Theorie nicht nur zur Modellierung von Unschärfe anwendbar, sondern zum Beispiel auch zur Modellierung von Situationen, in denen unscharfe Unsicherheits- beziehungsweise Wahrscheinlichkeitsangaben, wie beispielsweise „sehr wahrscheinlich“, verarbeitet werden müssen.²²⁹ Daraus resultiert allerdings, dass die Bedeutung von Zugehörigkeit bisher nicht eindeutig definiert ist und die Semantik der Zugehörigkeit trotz umfangreicher Untersuchungen ein Hauptproblem der Fuzzy Set Theorie darstellt.²³⁰ Dennoch existieren verschiedene Wege, um Unschärfe zu quantifizieren und

²²⁵ Vgl. Eisenführ; Weber; Langer (2010), S. 175 - 179

²²⁶ Vgl. Kapitel 4.1.1

²²⁷ Vgl. Kapitel 4.1.3

²²⁸ Vgl. Lehmann, Weber, Zimmermann (1992), S. 3

²²⁹ Vgl. Biewer (1997), S. 57

²³⁰ Vgl. Borgelt; Kruse (2001), S. 7

Zugehörigkeitsfunktionen zu definieren. In diesem Zusammenhang kann Zugehörigkeit als Wahrscheinlichkeit, als Intensität (1), als Intensität (2), als Ähnlichkeit, als Abstufung oder als Approximation interpretiert werden.²³¹

Bei der Interpretation von Zugehörigkeit als Wahrscheinlichkeit wird Zugehörigkeit als Wahrscheinlichkeit der subjektiven Zuordnung eines Objektes zu einer Menge verstanden. Die Einordnung von Objekten in unscharfe Mengen erfolgt anhand relativer Urteilshäufigkeiten.²³² Dieser Ansatz funktioniert jedoch nur dann, wenn für die Mengen eine Rangordnung hinsichtlich ihrer Eigenschaften eingehalten werden kann, welche auch als Basisskala der Zugehörigkeitsfunktion dient. Diese Voraussetzung ist nicht immer erfüllbar, beispielsweise, wenn Häufigkeiten im Zusammenhang anderer Häufigkeiten eingeschätzt werden. Eine weitere Voraussetzung für diesen Ansatz ist die Überschneidungsfreiheit der Kerne der Zugehörigkeitsfunktionen. Die grundsätzliche Erfüllung dieser Voraussetzung erscheint, beispielsweise bei semantisch nur schwach unterschiedlichen unscharfen Mengen, fraglich.

Bei der Interpretation der Zugehörigkeit als Intensität (1) wird Zugehörigkeit als diejenige Intensität verstanden, mit der die Eigenschaft der Basisskala auf ein Objekt zutrifft. Die Ermittlung der Zugehörigkeit erfolgt durch Ähnlichkeitspaarvergleiche, wie „Objekt A und B unterscheiden sich hinsichtlich der Basisskala gleich stark wie oder stärker als oder schwächer als die Objekte C und D“, aus denen eine Menge von Beschränkungen über die Differenzen der Zugehörigkeitswerte für die einzelnen Objekte auf einer Intervallskala abgeleitet werden kann.²³³ Einem Objekt kann dadurch ein Wert zugewiesen werden, der ausdrückt, wie viel der betrachteten Eigenschaft der Basisskala in dem Objekt enthalten ist. Kritisch ist bei diesem Ansatz die Gleichsetzung der subjektiven Skala der Zugehörigkeit zu einer Eigenschaft mit der mengentheoretischen Zugehörigkeit zu sehen, weil die minimale Zugehörigkeit zu einer Eigenschaft

²³¹ Vgl. hierzu und im Folgenden Spieß (1993), S. 219 - 227

²³² Anwendung fand dieser Ansatz beispielsweise in empirischen Untersuchungen von subjektiven Wahrscheinlichkeitsausdrücken wie „sicherlich nicht“, „unwahrscheinlich“, „ziemlich wahrscheinlich“, „nahezu sicher“, „sicher“. Jeder dieser Begriffe kann als subjektive Kategorie aufgefasst werden, die unscharfen Mengen von relativen Häufigkeiten entsprechen (vgl. Zimmer (1986)).

²³³ Diese Werte können für die Bestimmung der Zugehörigkeitsfunktion eingesetzt werden (vgl. Norwich; Turksen (1984)).

nicht zwingend einer Zugehörigkeit von 0 beziehungsweise die maximale Zugehörigkeit zu einer Eigenschaft nicht zwingend einer Zugehörigkeit von 1 entsprechen müssen. Daraus folgt, dass der Intervallskalenansatz die mengentheoretisch wichtigen Grenzfälle der Zugehörigkeit nicht adäquat behandeln kann.

Der Ansatz der Interpretation der Zugehörigkeit als Intensität (2) erweitert den Ansatz der Interpretation der Zugehörigkeit als Intensität (1) und versucht dessen Mangel durch Festlegung von Nullpunkt und Einheit der verwendeten Skala zu beheben.²³⁴ Die subjektiven Grenzen von unscharfen Mengen unterliegen permanenten zufälligen Schwankungen. Jedes Objekt kann deshalb, wie bei Thurstone, durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung von Werten auf einem subjektiven Kontinuum, der Basisskala, dargestellt werden. Die Ermittlung der Skala aus subjektiven Urteilen erfolgt zum einen meist unter der restriktiven Annahme einer subjektiven Normalverteilungsschwankung für alle Grenzen der unscharfen Mengen. Zur Vereinfachung wird weiterhin angenommen, dass alle Grenzen der unscharfen Mengen die gleiche Varianz haben und voneinander unabhängig sind. Der Verhältnisskalenansatz zur Bestimmung von Zugehörigkeitsfunktionen erweist sich als zweckmäßig und ist praktisch erprobt. Die Begründung der voraussetzenden Annahmen kann sich aber im Einzelfall als schwierig erweisen, beispielsweise bei der nur begrenzt möglichen Ermittlung der Varianz für die unscharfe Menge „riesig groß“.

Die Ähnlichkeit zwischen beliebigen Objekten oder zwischen einem Objekt und einem Referenzobjekt ist Ausgangspunkt für die Interpretation von Zugehörigkeit als Ähnlichkeit. Eine Möglichkeit ist, Ähnlichkeit von Objekten durch Distanzen in einem mehrdimensionalen Raum darzustellen. Umso ähnlicher sich Objekte sind, desto näher liegen sie beieinander. Als problematisch erweist sich hierbei zum einen, dass Distanzen gleich bleiben, wenn man den Ursprung des Koordinatensystems verändert und zum anderen, dass die Achsen des Merkmalsraumes rotieren können, ohne dass sich die Distanzen ändern. Die Herleitung einer Zugehörigkeitsfunktion auf festgelegten Basisskalen anhand dieser Methodik ist fragwürdig, da die Aussage, auf welche Basisska-

²³⁴ Die Bestimmung der Zugehörigkeit von Objekten zu einer unscharfen Menge kann mit einem Skalierungsverfahren realisiert werden, welches auf den Thurstone'schen Methoden basiert (vgl. Torgerson (1958)).

len sich die Distanzen beziehen, nicht möglich ist. Eine alternative Möglichkeit besteht darin, Ähnlichkeit als Nähe zu einem Referenzobjekt zu betrachten. Durch die Transformation intervallskalierter Daten ist mit diesem Ansatz²³⁵ die Ableitung einer Zugehörigkeitsfunktion möglich. Einem Objekt kann eine Zugehörigkeit von 1 zugeordnet werden, wenn es nah genug am Referenzobjekt liegt und bei einer entsprechend großen Entfernung vom Referenzobjekt eine Zugehörigkeit von 0.

Der Vergleich von Rangordnungen ist die Grundlage für die Interpretation von Zugehörigkeit als Abstufung. Anhand der Ausprägungen von Objekten bezüglich einer bestimmten Eigenschaft lassen sich Schichten von Objekten bilden, aus denen eine ordinale Skala der Zugehörigkeit entwickelt werden kann. Durch die Bildung weiterer Teilmengen hinsichtlich der betrachteten Eigenschaft kann die Rangordnung in den einzelnen Schichten weiter verfeinert werden. Allerdings lässt sich für die Objekte, welche die untersuchte Eigenschaft besitzen, wie auch beim Intervallskalenansatz, nicht bestimmen, ob diese die Zugehörigkeit von 1 im mengentheoretischen Verständnis haben. Zudem gestaltet sich die Vergleichbarkeit von Objekten über mehrere Grundvariable auf rein ordinalen Skalen schwierig. Die Vergleichbarkeit der Zugehörigkeit über beliebige Basisskalen ist aber für die Theorie der unscharfen Mengen sinngemäß. Unter der Voraussetzung, dass die Gleichwertigkeit von Ordnungen auf verschiedenen Basisskalen akzeptabel ist, kann die Zugehörigkeit von Objekten beliebiger Basisskalen dennoch auf rein ordinalem Niveau bestimmt werden. Unter dieser Voraussetzung gelingt eine besonders aufwandsarme Fundierung unscharfer Mengen.

Zugehörigkeit als Approximation²³⁶ versteht Zugehörigkeit als Ausdruck der Qualität, mit der ein Messwert durch einen gegebenen Wert angenähert wird. Aus dieser vagen Begriffsbestimmung öffnet sich für die Ermittlung von Zugehörigkeitsfunktionen das weite Feld des statistischen Lernens. So konnte gezeigt werden, dass aus einer beliebig angenommenen linearen Zugehörig-

²³⁵ Dieser von Zimmermann und Zysno entwickelte Ansatz konnte bei der Modellierung von empirischen Daten aus Befragungen erfolgreich angewendet werden (vgl. Zimmermann; Zysno (1985)).

²³⁶ Diese Sichtweise der Zugehörigkeit dominiert derzeit bei praktischen Anwendungen, aus der sich fruchtbare Wechselwirkungen zwischen der Fuzzy Set Theorie und der Neuroinformatik ergeben.

keitsfunktion mit Hilfe von Daten eine Parameterschätzung für die Geradengleichungen möglich ist, die iterativ verbessert werden kann.²³⁷ Die Interpretation von Zugehörigkeit als Approximation entspricht auch dem Standpunkt, dass Zugehörigkeitsfunktionen durch vage Daten als Ergebnis von Messungen gegeben sind.²³⁸ Messfehler führen auch unter konstanten Bedingungen zu Ergebnisschwankungen und zur typischen Normalverteilung um einen bestimmten Messwert. Zudem kann auch das Messergebnis selbst durch mangelnde Messgenauigkeit, die Trägheit des Messinstruments bei schnellen Schwankungen der Messgröße und zahlreiche andere Ursachen ungenau sein. Diese Ungenauigkeit kann durch unscharfe Mengen und eine Statistik dieser unscharfen Mengen modelliert werden und erfordert ein erweitertes Verständnis der Approximation von Messdaten.²³⁹

4.2.3 Grenzen der Wahrscheinlichkeitstheorie und Komplementarität zur Fuzzy Set Theorie

Die klassische Wahrscheinlichkeitstheorie wird den Anforderungen an eine umfassende Methodik für den Umgang mit Unbestimmtheit nicht gerecht. Zadeh führt in diesem Zusammenhang die folgenden Punkte an²⁴⁰:

- Die fehlende Handhabbarkeit unscharfer Ereignisse setzt der Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie Grenzen, wenn Rückschlüsse aus realem Wissen gezogen werden sollen, das in Form von unscharfen Prämissen formuliert wurde. Auch bei der Berücksichtigung von Expertenwissen durch Wahrscheinlichkeiten in Bayes'schen Netzen erweisen sich die mit den Knoten verbundenen Ereignisse eher als unscharf. Die Verbindungen von Knoten werden gewöhnlich über bedingte numerische Wahrscheinlichkeiten dargestellt. Die Frage nach der Bedeutung dieser Wahrscheinlichkeiten wird durch die Theorie der Bayes'schen Netze nicht beantwortet.
- Die Wahrscheinlichkeitstheorie verfügt über keine Techniken, um Quantifikatoren, wie beispielsweise „viele“, „mehrere“, „wenige“, zu verarbeiten.

²³⁷ Vgl. Takagi; Sugeno (1985)

²³⁸ Vgl. Kruse; Schwecke; Heinsohn (1991)

²³⁹ Kruse und Meyer setzen hierzu zufällige Mengen ein (vgl. Kruse; Meyer (1987)).

²⁴⁰ Vgl. Zadeh (1995), S. 807 - 808

- Die Wahrscheinlichkeitstheorie bietet kein System für das Rechnen mit unscharfen Wahrscheinlichkeiten, die durch Begriffe, wie „wahrscheinlich“, „unwahrscheinlich“ oder „nicht sehr wahrscheinlich“, ausgedrückt werden.
- Die Wahrscheinlichkeitstheorie besitzt keine Methoden für die Schätzung von unscharfen Wahrscheinlichkeiten. Subjektive Wahrscheinlichkeiten haben ihre Wurzeln in den meisten Fällen in der unscharfen Wahrnehmung frequentistischer Wahrscheinlichkeiten.
- Die Wahrscheinlichkeitstheorie ist nicht ausreichend ausdrucksstark, um die Vielfalt und Bedeutungen sprachlicher Ausdrücke umfassend repräsentieren zu können.
- Die begrenzte Ausdruckskraft der Wahrscheinlichkeitstheorie führt zu Schwierigkeiten bei der Analyse von Daten, die durch unscharfe Begriffe beschrieben sind.

Die mit diesen Punkten verbundenen offenen Fragen des Umgangs mit Unschärfe zeigen die Grenzen der Anwendungsmöglichkeiten der klassischen Wahrscheinlichkeitstheorie auf. Die Ursache hierfür liegt insbesondere in der bewussten Umgehung von Aspekten und Problemen durch die klassische Wahrscheinlichkeitstheorie, die in ihrem Kern Unschärfe enthalten. Gerade diese Unschärfe findet sich aber regelmäßig in den realen Problemstellungen wieder. Der erfolgreiche Einsatz der klassischen Wahrscheinlichkeitstheorie in mechanistischen Systemen, wie der Statistischen Mechanik, der Turbulenztheorie, der Quantenmechanik, der Evolutionären Programmierung, in Kommunikationssystemen und verwandten Feldern, ist unbestritten. Aber in Feldern, in denen die Abhängigkeiten zwischen Variablen nicht eindeutig definiert sind, das Wissen über Wahrscheinlichkeiten ungenau oder unvollständig ist, menschliches Schlussfolgern, Wahrnehmungen und Emotionen eine bedeutende Rolle spielen, erweist sich die klassische Wahrscheinlichkeitstheorie als weniger leistungsfähig. Zu diesen Feldern zählen in unterschiedlichem Ausmaß beispielsweise die Wirtschaftswissenschaften, die Mustererkennung, die Entscheidungsanalyse in Gruppen, die Sprach- und Handschriftenerkennung, die Wetter- und Erdbebenvorhersage oder Expertensysteme.²⁴¹

²⁴¹ Vgl. Zadeh (1995), S. 808

Insbesondere für die Anwendung der Wahrscheinlichkeitstheorie im Zusammenhang mit menschlichem Schlussfolgern wurde von Psychologen die Fragwürdigkeit des Vertrauens in die Qualität des menschlichen Wahrscheinlichkeitsurteils aufgezeigt. Wahrscheinlichkeitsschätzungen menschlicher Experten stellten in der Vergangenheit einen wichtigen Ansatz zur Bestimmung von Wahrscheinlichkeitsmodellen des Expertenwissens für nicht direkt erhebbare Ereignisse dar. Untersuchungen von Psychologen mit Hilfe von Experimenten über die Logik des menschlichen Wahrscheinlichkeitsurteils offenbarten, dass das menschliche Wahrscheinlichkeitsurteil oft systematisch von den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitstheorie abweicht. Stattdessen benutzen Menschen Heuristiken, die häufig zu geeigneten Problemlösungen, aber in der Regel zu Fehleinschätzungen von Wahrscheinlichkeiten führen.²⁴²

Das Ausmaß und die Art der Fehleinschätzung sind von der verwendeten Heuristik abhängig. Als bedeutend für die Beurteilung der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses wurde die Heuristik der Repräsentativität durch Tversky und Kahneman nachgewiesen.²⁴³ Nach dieser Heuristik wird die Wahrscheinlichkeit einer Stichprobe danach beurteilt, wie repräsentativ diese für den gegebenen Ereignisraum ist. Die Beurteilung der Stichprobe erfolgt nicht anhand der tatsächlichen Wahrscheinlichkeit, mit der diese Stichprobe auftreten kann, sondern vielmehr bezüglich der Ähnlichkeit von Stichprobenmerkmalen mit Merkmalen der Population. Das heißt, die Beurteilung erfolgt danach, wie repräsentativ die Stichprobe für den Zufallsmechanismus eingeschätzt wird, aus dem diese entstammt. Beispielsweise wird, beruhend auf der intuitiven Auffassung, dass Zufallsfolgen stets gut durcheinander gemischt sind, beim Würfeln nach einer großen Anzahl von Würfeln ohne das Fallen einer 6 regelmäßig erwartet, dass beim nächsten Wurf eine 6 fallen muss, obwohl die Wahrscheinlichkeit für alle Zahlen gleich hoch bleibt. In gleicher Weise wird beispielsweise auch die Abfolge J-J-J-M-M-M der Geburten von Jungen (J) und Mädchen (M) durch eine statistisch signifikante Mehrheit von Versuchspersonen als weniger wahrscheinlich eingeschätzt als die Abfolge M-J-M-J-J-M, obwohl diese genauso wahrscheinlich ist. Die erstgenannte Abfolge vermittelt den Eindruck

²⁴² Vgl. Spies (1993), S. 58 - 59. Vgl. auch die Ausführungen zur heuristischen Informationsverarbeitung in Kapitel 5.2.3.1 und zur Vorteilhaftigkeit der Modellierung unscharfer Modelle in Kapitel 5.1.

²⁴³ Tversky; Kahneman (1982)

einer für Zufallsfolgen nicht repräsentativen Sequenz. Wegen der scheinbaren Regelmäßigkeit wird diese Sequenz deshalb nach der Heuristik der Repräsentativität für unwahrscheinlicher gehalten.²⁴⁴

Tversky und Kahneman konnten mit ihren Untersuchungen zur Heuristik der Repräsentativität auch nachweisen, dass die intuitive Denkweise des Menschen von den statistischen Gesetzmäßigkeiten abweicht. Trotz des engen Zusammenhangs zwischen der Größe einer Stichprobe und der Wahrscheinlichkeit, durch diese Stichprobe einen gesuchten Wert möglichst realitätsadäquat zu bestimmen, wird die Stichprobengröße bei der Bildung von Wahrscheinlichkeitsurteilen überhaupt nicht berücksichtigt und stattdessen eine mehr oder weniger universale Verteilung angenommen.²⁴⁵ In einer weiteren Untersuchung sollten Personen anhand von Beschreibungen hinsichtlich ihrer Berufstätigkeit als Ingenieur oder Rechtsanwalt beurteilt werden. Die aus einer Menge von 100 Beschreibungen zufällig ausgewählten Beschreibungen wurden, bei einem vorgegebenem Verhältnis von 70 Ingenieuren und 30 Anwälten und umgekehrt, nach der Repräsentativität der Beschreibungen für das Berufsbild beurteilt, ohne die nach dem Bayes'schen Theorem notwendige Einbeziehung des vorgegebenen Verhältnisses der Berufe. In diesem Zusammenhang entsteht die Schwierigkeit, unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsinterpretationen, nämlich das Verhältnis der Beschreibungen als frequentistische Wahrscheinlichkeit und die Zuordnung der Beschreibungen zu den Berufsbildern als logische Wahrscheinlichkeit²⁴⁶, überhaupt in einem Urteil zusammenzuführen, da die Wahrscheinlichkeitstheorie hierfür gar keinen Lösungsansatz bietet.²⁴⁷

Neben der Heuristik der Repräsentativität haben Tversky und Kahneman²⁴⁸ die Heuristik der subjektiven Zugänglichkeit und die Heuristik der Verankerung

²⁴⁴ Vgl. Spies (1993), S. 59 - 61

²⁴⁵ Vgl. Spies (1993), S. 61 - 62

²⁴⁶ Der Begriff der logischen Wahrscheinlichkeit wurde von Carnap eingeführt (vgl. Carnap (1950)). Die logische Wahrscheinlichkeit betrifft Fakten, die entweder wahr oder falsch sind, unabhängig von der Häufigkeit ihrer Beobachtung. Logische Wahrscheinlichkeiten sind auf relative Häufigkeiten nicht anwendbar, denn ob eine Aussage wahr oder falsch ist, kann durch relative Häufigkeiten nicht erfasst werden (vgl. Spies (1993), S. 70 - 71).

²⁴⁷ Vgl. Spies (1993), S. 64

²⁴⁸ Tversky; Kahneman (1982)

von Urteilen an einem Bezugspunkt als insbesondere quantitative menschliche Wahrscheinlichkeitsurteile beeinflussende Mechanismen identifiziert. Nach der Heuristik der subjektiven Zugänglichkeit werden leicht vorstellbare Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen oder Wahrscheinlichkeiten von Ereignissen, dessen Eintritt stark erhofft wird, überbewertet. Bei der Heuristik der Verankerung von Urteilen an einem Bezugspunkt werden Wahrscheinlichkeitsurteile an einem plausiblen Wert verankert und von diesem ausgehend, mögliche Abweichungen geschätzt. Dabei verhindert die Verankerung, dass auch große Abweichungen vom Bezugspunkt angemessen berücksichtigt werden. Das führt dazu, dass gerade Experten unbefriedigende Aussagen treffen. Auch diese Heuristiken und die damit verbundenen Wahrscheinlichkeitsurteile des Menschen sind mit den Grundgesetzen der Wahrscheinlichkeitstheorie nicht in Übereinstimmung zu bringen.

Die Ausführungen verdeutlichen, dass Menschen in der Regel keine guten Wahrscheinlichkeitsbeurteiler sind und deshalb Wahrscheinlichkeit nicht als deskriptiv adäquates Modell für das menschliche Urteilen bei Unbestimmtheit angesehen werden kann. Das normative Modell der Wahrscheinlichkeitstheorie und die deskriptiv erfassbare Realität durch die kognitiven Prozesse des Menschen erweisen sich häufig als gegensätzlich. Der Mensch weicht bei der subjektiven Bewertung unbestimmten Wissens systematisch von den Axiomen der Wahrscheinlichkeitstheorie ab. Wie groß das Ausmaß der menschlichen Unzulänglichkeit hinsichtlich der Beurteilung von Wahrscheinlichkeiten tatsächlich ist und in welchem Ausmaß durch Schulung und Training Verbesserungen erzielt werden können, ist schwer bestimmbar.²⁴⁹

Eine Komplementarität von Wahrscheinlichkeitstheorie und Fuzzy Set Theorie kann einerseits darin gesehen werden, dass durch Verallgemeinerung der Basiskonzepte der Wahrscheinlichkeitstheorie, wie Wahrscheinlichkeit, Ereignis, Stichprobe, Kausalität, Unabhängigkeit, Stationarität, Ähnlichkeit und Konvergenz, mit Hilfe der Konzepte der Fuzzy Set Theorie die Leistungsfähigkeit der Wahrscheinlichkeitstheorie erhöht werden kann. Unter bestimmten Einschränkungen

²⁴⁹ Vgl. Spies (1993), S. 67 - 68, 72 - 73. Angemerkt werden soll an dieser Stelle nochmals, dass diese Ausführungen die Wahrscheinlichkeitstheorie nur hinsichtlich der Anwendungsmöglichkeiten zur Erfassung und Abbildung unsicheren und unscharfen Wissens beurteilen und keineswegs deren Berechtigung in ihrer Gesamtheit in Frage stellt.

kungen können unscharfe Mengen auch als stochastische Mengen oder als disjunkte oder additive Kombination von scharfen Mengen dargestellt werden. Diese Verbindung zwischen unscharfen Mengen und stochastischen Mengen bedeutet aber nicht, dass Unschärfe und Zufälligkeit identische Konzepte sind beziehungsweise die Theorie der unscharfen Mengen und die Wahrscheinlichkeitstheorie auf der gleichen Grundlage basieren. Andererseits sind die Konzepte der Maße, der Kardinalität und der Wahrscheinlichkeit im Zusammenhang mit menschlichem Schlussfolgern und Expertensystemen von zunehmender Bedeutung in der Fuzzy Set Theorie. Für die Entwicklung einer symbiotischen Beziehung zwischen der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Fuzzy Set Theorie werden das Konzept der Linguistischen Variable und das Kalkül der unscharfen WENN-DANN-Regeln zukünftig eine Schlüsselrolle spielen.²⁵⁰

Im Rahmen dieser Arbeit werden sowohl das Konzept der linguistischen Variablen als auch unscharfe WENN-DANN-Regeln eine zentrale Rolle spielen. Dadurch kann eben jene symbiotische Beziehung zwischen der Wahrscheinlichkeitstheorie und der Fuzzy Set Theorie auch innerhalb des in dieser Arbeit entwickelten Konzeptes zum Tragen kommen. Zwar fokussiert die Arbeit begründet explizit und ausschließlich auf die Berücksichtigung und Integration von Unbestimmtheit in Form von Unschärfe in die Entwicklung der Entscheidungsgrundlagen der Technologieführaufklärung. Jedoch eröffnen sich hierdurch auch Möglichkeiten, wahrscheinlichkeitstheoretische Konzepte mit Hilfe von Konzepten der Fuzzy Set Theorie abzubilden und dort in die Fragestellungen des Technologiemanagements einzubeziehen, wo es gegebenenfalls erforderlich ist.²⁵¹

4.3 Anwendungsfelder der Fuzzy Set Theorie

Die Anwendungen der Fuzzy Set Theorie können grundsätzlich in die zwei Klassen der algorithmischen und der wissensbasierten Ansätze unterschieden werden. Algorithmische Ansätze basieren auf klassischen zweiwertigen numerischen Modellen oder Methoden. Die Anpassung dieser Modelle und Metho-

²⁵⁰ Vgl. Zadeh (1995), S. 806 - 807, 809

²⁵¹ Vgl. hierzu auch die Ausführungen in Kapitel 5.2.1 und Kapitel 5.2.3.1.

den an die realen, häufig nicht dichotomen Gegebenheiten in einer Entscheidungssituation durch Konzepte der Fuzzy Set Theorie ermöglicht die in der Realität enthaltene Unschärfe in die Modelle und Methoden aufzunehmen und deren Aussagekraft zu erhöhen. Über Zugehörigkeitsfunktionen kann die Unschärfe modelliert und der Verarbeitung in effizienten, scharfen Algorithmen zugänglich gemacht werden.²⁵² Wissensbasierte Ansätze versuchen, fehlende oder ineffiziente algorithmische Ansätze durch die Nachbildung menschlichen Problemlöseverhaltens zu ersetzen.²⁵³ Unschärfe Mengen werden in diesem Zusammenhang zur inhaltserhaltenden formalen Abbildung von menschlichem Wissen eingesetzt. Auf diese Weise gelingt es, menschliches Erfahrungswissen elektronisch zu verarbeiten. Der Verarbeitungsprozess umfasst die Wissensakquisition, die Wissensdokumentation, die Wissensverarbeitung und die Übersetzung der zu verarbeitenden Informationen. Die Dokumentation des akquirierten Wissens erfolgt für gewöhnlich in Form von Regeln in der Wissensbasis. Die Wissensverarbeitung vollzieht sich in einer das linguistische Wissen inhaltserhaltend verarbeitenden Inferenzmaschine. Zur Verarbeitung der Informationen in der Wissensbasis ist die Übersetzung der eingehenden numerischen Informationen in linguistische Informationen erforderlich. Dieser Schritt wird auch als Fuzzifizierung der eingehenden Informationen bezeichnet. Zur Ergebnisdarstellung werden die aus dem Inferenzprozess hervorgehenden und durch Zugehörigkeitsfunktionen beschriebenen Informationen entweder in Zahlen oder in linguistische Werte einer linguistischen Variablen zurückübersetzt. Der erstgenannte Transformationsprozess der Ausgangsgrößen wird auch als Defuzzifizierung bezeichnet, letzterer als linguistische Approximation.²⁵⁴ Wissensbasierte Fuzzy-Systeme ermöglichen die Umsetzung handhabbarer, robuster und günstiger Problemlösungen, die gegenüber Unsicherheit und Unschärfe in Schlussfolgerungsmechanismen tolerant sind.²⁵⁵

Weitere Potentiale bietet die Verbindung von Fuzzy-Systemen mit anderen Methoden wie Neuronalen Netzen und probabilistischen Methoden.²⁵⁶ Bei-

²⁵² Vgl. Zimmermann (1993), S. 37, 47

²⁵³ Vgl. Winkler (2008), S. 160 und Zimmermann (1993), S. 48

²⁵⁴ Vgl. Zimmermann (1993), S. 48 und die Ausführungen in Kapitel 6.2.1

²⁵⁵ Vgl. Nauck; Kruse (1997), S. 4

²⁵⁶ Vgl. Kruse (1993), S. 74

spielsweise entstehen durch die Kombination von Fuzzy-Systemen mit Neuronalen Netzen lernfähige Neuronale Fuzzy-Systeme. Deren Struktur ist durch Fuzzy-Regeln und sich selbständig an Aufgaben anpassende Parameter gekennzeichnet. Zu den Parametern zählen die Art und die Anzahl der Fuzzy-Regeln sowie die im Allgemeinen durch Funktionen parametrisierten Fuzzy-Mengen. Der Vorteil besteht in der automatischen Erzeugung und Optimierung von Fuzzy-Systemen und in der Möglichkeit, Zusammenhänge in Daten identifizieren und diese linguistisch in Form von Fuzzy-Regeln beschreiben zu können.²⁵⁷

Als primäre Anwendungsfelder der Fuzzy Set Theorie lassen sich Anwendungen in der Regelungstechnik, zur Entscheidungsunterstützung und zur Datenanalyse unterscheiden. Tabelle 8 gibt einen Überblick zu den methodischen Ansätzen und Anwendungsfeldern.

Tabelle 8: Fuzzy Anwendungen – methodische Ansätze und Anwendungsfelder
(Quelle: in Anlehnung an Zimmermann (1995), S. 10, 19 und Popp (1997), S. 24)

Methode Anwendungsfelder	Algorithmische Ansätze	Wissensbasierte Ansätze	Kombinierte Ansätze
Regelungstechnik	<ul style="list-style-type: none"> • Fuzzy Petri Netze 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuzzy Control 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuro-Control
Entscheidungsunterstützung	<ul style="list-style-type: none"> • Fuzzy Lineare Programmierung • Fuzzy Multi-Criteria-Analyse • Fuzzy Netzplantechnik 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuzzy Expertensysteme 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuronale Fuzzy-Systeme
Datenanalyse	<ul style="list-style-type: none"> • Fuzzy Cluster- Analyse • Fuzzy Regressions-Analyse • Fuzzy-Diskriminanz-Analyse 	<ul style="list-style-type: none"> • Wissensbasierte Klassifikatoren • Fuzzy-Musterklassifikation • Fuzzy-Musteranalyse 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuronale Mustererkennung

Der Ursprung des erfolgreichen Einsatzes der Fuzzy Set Theorie in der Industrie liegt im Bereich der Regelungstechnik.²⁵⁸ Die Verwendung von Fuzzy Methoden in diesem Bereich ist insbesondere bei Vorliegen der folgenden Kriterien beziehungsweise Zielstellungen erfolgversprechend²⁵⁹:

²⁵⁷ Vgl. Nauck; Kruse (1997), S. 19

²⁵⁸ Vgl. Nauck; Kruse (1997), S. 3

²⁵⁹ Vgl. Pfeiffer et al. (2002b), S. 520

-
- nichtlineares Prozessverhalten,
 - vollständige mathematische Prozessmodelle sind aufgrund von fehlendem theoretischen Wissen oder wegen des hohen Modellierungsaufwandes nicht verfügbar,
 - Automatisierung von Prozessen, zu deren Realisierung das Erkennungs- und Entscheidungsvermögen von menschlichen Anlagenbedienern nachgebildet und deren Erfahrungswissen erfasst und genutzt werden soll,
 - Abbildung selbsterklärender und leicht modifizierbarer hochdimensionaler Kennfeld-Regler.

Neben der Regelung und Steuerung von industriellen Prozessen mit Fuzzy-Reglern, zum Beispiel zur Feuerleistungsregelung in Müllheizkraftwerken, zur Phosphatelimination in Kläranlagen, zur Wasserchlorung und -aufbereitung in Schwimmbädern, zur pH-Wert-Regelung einer Neutralisationsanlage, zur Regelung von Robotern, zur Regelung von Glasziehprozessen, zur Gießspiegelregelung, zur Störgrößenausblendung bei Dosierwagen, zur Empfindlichkeitsregelung bei Unwuchtmessgeräten, zur Regelung von Klimaanlage, zur Regelung von Wärmetauschern, zur Regelung der Verfahrgeschwindigkeit von elektrohydraulischen Linearantrieben²⁶⁰, zur automatischen Sortierung von Abfallkomponenten²⁶¹, zur Automatisierung von Zellstoff- und Papierproduktionsprozessen²⁶², zur operativen Prozessführung einer Krackanlage zur Ethylenherstellung²⁶³, zur Regelung einer Roheisen-Entschwefelungsanlage, zur Lastprognose bei der Energieversorgung, zur Optimierung der Kühlwasseraufbereitung oder zur Regelung des Trocknungsprozesses in der Zuckerindustrie²⁶⁴, finden sich erfolgreiche Anwendungen mit Fuzzy-Reglern im Bereich der Haushaltsgeräte, beispielsweise in Waschmaschinen, Rasierapparaten, Staubsaugern und Mikrowellen, im Bereich der Medizintechnik, beispiels-

²⁶⁰ Vgl. Pfeiffer et al. (2002a), S. 461 - 465 und die dort angegebene Literatur

²⁶¹ Vgl. Schoder; Nücke (1995)

²⁶² Vgl. Furomoto (1995)

²⁶³ Vgl. Fischer et al. (1995)

²⁶⁴ Vgl. Pfeiffer et al. (2002b), S. 512 - 516 und die dort angegebene Literatur. Weitere Beispiele zur Fuzzy-Regelung industrieller Prozesse geben beispielsweise Börcsök (2000), Zimmermann (1993) und Zimmermann (1995).

weise in Blutdruckmessgeräten, und in der optischen Industrie, zum Beispiel in Videokameras oder Fotoapparaten.²⁶⁵

Seit den ersten Anwendungen in der Industrie haben sich die Anwendungsfelder der Fuzzy Set Theorie auch auf Bereiche wie die Entscheidungsunterstützung oder die Datenanalyse ausgeweitet. Im Anwendungsfeld der Datenanalyse werden Fuzzy-Methoden zur Mustererkennung und Klassifikation von Beobachtungen eingesetzt. Im technischen Bereich finden sich Fuzzy-Datenanalyse-Anwendungen beispielsweise zur Zustandsanalyse von Pendelmühlen, zur Fehlerklassifikation von Verbrennungsmotoren, zur Überwachung von Turbogeneratoren in Kraftwerken, zur Mustererkennung an Stranggießanlagen, zur Qualitätskontrolle von Automatikgetrieben, zur Störgrößenabblendung bei Radauswuchtmaschinen²⁶⁶, zur Qualitätsendkontrolle von Kälteschränken, zur Verschleißdiagnostik von spanenden Werkzeugen, zur Überwachung und Diagnose von Spinnmaschinen, zur Fehlererkennung an CNC-Werkzeugmaschinenachsen oder zur Gütesicherung beim MAG-Schweißen mit Robotern²⁶⁷. Im betriebswirtschaftlichen Anwendungsbereich werden die Einsatzmöglichkeiten der Fuzzy Set Theorie zur Entscheidungsunterstützung in den verschiedenen betrieblichen Funktionsbereichen von Unternehmen und Forschungsinstituten untersucht. Die Fuzzy Set Theorie steht hier als Methode zur Bewältigung von Unsicherheit und Unschärfe sowie als verbindendes Element zwischen quantitativer und qualitativer Modellierung im Fokus.²⁶⁸ Zahlreiche Anwendungen existieren für die Fragestellungen der Produktionsplanung und -steuerung. Beispielsweise wurden Fuzzy-Modelle für die Primärbedarfsplanung zur Vorhersage des Produktionsbedarfs, zur Materialbedarfsplanung bei unscharfer Verschnittformulierung für den Stahlplattenzuschchnitt, zur Terminsteuerung unter Berücksichtigung unscharfer Ziele und unscharfer Nebenbedingungen, zur Durchlaufterminierung, zur Zeit- und Kapazitätsanalyse, zur Projektplanung bei unscharfen Daten, zur Gestaltung von Arbeitsabläufen, zur Teilefamilienbildung, zur Instandhaltungsplanung²⁶⁹, zur

²⁶⁵ Vgl. Nauck; Kruse (1997), S. 3

²⁶⁶ Vgl. Pfeiffer et al. (2002a), S. 466 - 469 und die dort angegebene Literatur.

²⁶⁷ Vgl. Popp (1997), S. 31 und die dort angegebene Literatur

²⁶⁸ Vgl. Popp (1997), S. 23 - 25

²⁶⁹ Vgl. Popp (1994), S. 274 - 275 und die dort angegebene Literatur

Werkstattsteuerung²⁷⁰, zur Optimierung der Auslastung in der Automobilmontage²⁷¹, zur globalen Ablaufplanung von an mehreren Produktionsstandorten zu realisierenden Produktionsaufträgen²⁷², zur wetterabhängigen Produktionsplanung in Konditoreibetrieben²⁷³, zur Integration von Fuzzy-Tools in PPS-Softwaresysteme²⁷⁴ oder zur Standortplanung²⁷⁵ entwickelt. Im betrieblichen Funktionsbereich der Forschung und Entwicklung finden sich zum Beispiel ein Fuzzy-System zur fortlaufenden Bewertung und Dokumentation des erzielten Reifegrades bei der Entwicklung von Nutzfahrzeugkomponenten, ein Modell zur Berücksichtigung von Unsicherheit und Unschärfe in CAD-Systemen durch die Verbindung eines Expertensystems mit der Fuzzy-Multi-Criteria-Analyse, Modelle zur Berücksichtigung von Unschärfe im Target Costing²⁷⁶ sowie ein Modell zur Vorhersage von Produktdesign-Fehlerraten mit einem auf dem approximativen Schließen basierenden fuzzy-assoziativen Speicher.²⁷⁷ Im Bereich des Marketings und Vertriebs wurden beispielsweise Fuzzy-Systeme zur Produktbewertung und -beratung für den Brillenglasverkauf mit Hilfe einer Fuzzy-Multi-Criteria-Analyse, ein Verkaufs-Assistent für Personal Computer mit Hilfe einer Fuzzy-Bedarfsanalyse, ein Entscheidungssystem zur Produktbewertung für den Autoverkauf unter Berücksichtigung qualitativer Ziele und der Abhängigkeiten der Ziele untereinander, ein Fuzzy-System zur Selektion von Vertriebskanälen für Werbekampagnen, ein Fuzzy-System zur Preisbestimmung für neue Produkte oder zur Preisanpassung eingeführter Produkte unter Berücksichtigung von Marktveränderungen oder demographischen Entwicklungen und zur Prognose von Preisveränderungen von Wettbewerbsprodukten sowie ein Fuzzy-System zur Marktstrukturierung und -segmentierung

²⁷⁰ Zur Werkstattsteuerung werden meist Expertensysteme mit Fuzzy-Komponenten oder auch Fuzzy-Petri-Netze und die Fuzzy-Multi-Criteria-Analyse eingesetzt. Popp zeigt eine Übersicht über verschiedene Anwendungen zur Werkstattsteuerung (vgl. Popp (1994), S. 275 - 276 und die dort angegebene Literatur sowie Bitterlich; Fröbel; Lull (1997)).

²⁷¹ Vgl. Felix (1997)

²⁷² Vgl. Appelrath; Sauer; Suelmann (1997)

²⁷³ Vgl. Helmeke; Hönerloh (1997)

²⁷⁴ Vgl. Schmidt (1997)

²⁷⁵ Vgl. Vojdani; Lazar (1997) und Popp (1994), S. 281 sowie die dort angegebene Literatur

²⁷⁶ Vgl. Mißler-Behr (2001), S. 256 - 268 und Winkler (2008)

²⁷⁷ Vgl. Popp (1994), S. 271 und die dort angegebene Literatur

realisiert.²⁷⁸ Im Bereich der Beschaffung und Lagerhaltung existieren Fuzzy-Systeme, die zur qualitativen Beurteilung von Lagerhaltungspolitiken²⁷⁹, zum Lernen von Bestellregeln in Distributionsketten²⁸⁰, zur Bedarfsprognose, zur Wareneingangskontrolle mit Hilfe eines Datenanalyse-Moduls, zur Bestimmung einer Lagerhaltungspolitik mit dem Ziel der Festlegung einer optimalen zeitunabhängigen Strategie für den bevorzugt zu erreichenden Lagerzustand, zur Steuerung der innerbetrieblichen Transportvorgänge sowie für den Ersatzteilservice dienen.²⁸¹ Für Fragestellungen im Versand- und Kundendienstbereich wurden Modelle für die Gestaltung des Fuhrparks, für unscharfe Transportprobleme und die Wartungsplanung entwickelt.²⁸² Im Bereich des Finanz- und Rechnungswesens existieren Fuzzy-Systeme beispielsweise zur Bewertung der Vermögens-, Finanz- und Ertragslage von Unternehmen im Rahmen der Jahresabschlussprüfung, zur Unterstützung der analytischen Prüfungshandlungen innerhalb der Jahresabschlussprüfung, zur integrierten Finanzanalyse, zur Liquiditätsanalyse, zur Aufteilung von Projekt- oder Produktionskosten auf die beteiligten Bereiche, zur Gewinnverteilung in Konzernen mit wechselseitiger Eigentümerschaft oder auch Anwendungen in der Finanzmathematik, beispielsweise zur Erstellung von Szenarien bei der Zinsberechnung.²⁸³ Im Personalbereich dienen Fuzzy-Systeme zur Personaleinsatzplanung, zur Berechnung von Karrieremöglichkeiten eines Arbeitssuchenden, zur Personalauswahl, zur Personalbewertung²⁸⁴ oder zur strategischen Personalplanung²⁸⁵. Im Dienstleistungsbereich finden sich insbesondere bei Banken und Versicherungen zahlreiche Anwendungen. Zu den realisierten Anwendungen im Bankwesen zählen Fuzzy-Expertensysteme zur Kreditwürdigkeitsprüfung, zur Bestimmung der Kreditkonditionen, zum Fremdwährungshandel, zur

²⁷⁸ Vgl. Popp (1997), S. 26 - 28 und Popp (1994), S. 273 sowie die jeweils dort angegebene Literatur

²⁷⁹ Vgl. Kalonda; Kuhl (1997)

²⁸⁰ Vgl. Geyer-Schulz (1997)

²⁸¹ Vgl. Popp (1994), S. 274 und die dort angegebene Literatur

²⁸² Vgl. Popp (1997), S. 31 und Popp (1994), S. 278 sowie die jeweils dort angegebene Literatur

²⁸³ Vgl. Popp (1997), S. 31 - 32, Popp (1994), S. 278 - 279 und Rommelfanger (1997), S. 176 sowie die jeweils dort angegebene Literatur

²⁸⁴ Vgl. Popp (1994), S. 279 und die dort angegebene Literatur

²⁸⁵ Vgl. Spengler (1999)

Auswahl von Aktienoptionen, zur Spekulation an der Börse²⁸⁶ oder zur Aufdeckung von Betrugsfällen im Kreditkartengeschäft.²⁸⁷ Im Versicherungswesen existieren Fuzzy-Systeme zur Einschätzung des Versicherungsrisikos oder zur Angebotserstellung von Versicherungen, im Verkehrsbereich dienen Fuzzy-Systeme zur Verkehrssteuerung in Ampel- und Parkleitsystemen und in Verkehrsbeeinflussungsanlagen auf Autobahnen²⁸⁸ sowie zur unscharfen Tourenplanung in Personenbeförderungskonzepten²⁸⁹. Im Bereich der Unternehmensplanung und -kontrolle wurden Fuzzy-Anwendungen zur strategischen Planung²⁹⁰, zur Kapitalwertberechnung für die Beurteilung von Investitionsvorhaben²⁹¹, zur Szenariotechnik²⁹², zur unscharfen Break-Even-Analyse²⁹³, zur Planung mit der Netzplantechnik bei unscharfen Zeitangaben²⁹⁴, zur Unterstützung kollektiv abgestimmter Entwicklungsprognosen, zur Selektion potentieller Unternehmensbeteiligungen und -käufe²⁹⁵, zum Fuzzy-Geschäftsprozessmanagement²⁹⁶, zur unscharfen Balanced Scorecard²⁹⁷ und zur Unterstützung der strategischen Technologieplanung²⁹⁸ entwickelt.

Die zuletzt angeführten Beispiele verdeutlichen, dass es auch vielfältige Einsatzmöglichkeiten für Fuzzy-Systeme in betriebswirtschaftlichen Anwendungen gibt.²⁹⁹ Gleichzeitig wird deutlich, dass bisher für die Fragestellungen des

²⁸⁶ Vgl. Popp (1997), S. 32 und Rommelfanger (1997), S. 176 sowie die jeweils dort angegebene Literatur

²⁸⁷ Vgl. Rau (1997)

²⁸⁸ Vgl. Popp (1997), S. 32 - 35

²⁸⁹ Vgl. Paul et al. (1997)

²⁹⁰ Vgl. Zimmermann (1989) und Green; Mohan (1991)

²⁹¹ Vgl. Jenßen (1997) und Popp (1994), S. 279 - 280 und die dort angegebene Literatur

²⁹² Vgl. Dönitz (2009), Kratzberg (2009) und Mißler-Behr (2001), S. 168 - 235

²⁹³ Vgl. Mißler-Behr (2001), S. 112 - 130

²⁹⁴ Vgl. Federhen (1997)

²⁹⁵ Vgl. Popp (1997), S. 32 und die dort angegebene Literatur

²⁹⁶ Vgl. Hüsselmann (2003)

²⁹⁷ Vgl. Pochert (2005)

²⁹⁸ Vgl. Werners (1993)

²⁹⁹ Zukünftige Fuzzy-Anwendungen für betriebswirtschaftliche Problemstellungen im Bereich der Planung und Kontrolle sowie der Administration und Disposition in Unternehmen werden zunehmend in hybriden Systemen durch die Kombination von Operations Research, Expertensystemen, Neuronalen Netzen und Fuzzy-Technologien realisiert werden (vgl. Popp (1997), S. 36).

Technologiemanagements beziehungsweise der Technologiefrühaufklärung kein umfassender unscharfer Ansatz existiert. Zwar widmen sich einzelne Anwendungen unternehmensstrategischen Fragestellungen, jedoch fokussieren diese entweder nicht auf das Technologiemanagement oder beschäftigen sich nur mit einem begrenzten Ausschnitt der technologiemanagementspezifischen Problemstellungen. Die vorliegende Arbeit füllt diese Lücke und entwickelt für die Technologiefrühaufklärung einen Ansatz, der in gewisser Weise die algorithmische und wissensbasierte Vorgehensweise zur Anwendung der Fuzzy Set Theorie kombiniert, um ein umfassendes und durchgängiges Modell für die Abbildung der Fragestellungen des Technologiemanagements innerhalb des Technologiefrühaufklärungsprozesses entwickeln zu können.

5 Unschärfe und methodische Fragmentierung in der Technologiefrühaufklärung als Forschungsansatz

5.1 Vorteil der Modellierung unscharfer Modelle

Es wurde bereits dargestellt, dass die in der Realität existierende Unschärfe von Informationen bei der Modellierung von sozio-technischen Systemen mit Hilfe von klassischen zweiwertigen Modellen keine systematische beziehungsweise adäquate Berücksichtigung findet. Daneben erweisen sich die Bedingungen, unter denen die Bildung von Wahrscheinlichkeitsurteilen gerechtfertigt ist und dadurch Unsicherheit bei der Entscheidungsfindung durch die Angabe von Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden kann, als sehr einschränkend für die Modellierung realer Problemstellungen.³⁰⁰ Hinzu kommen Wahrnehmungsverzerrungen des Menschen, welche die Aussagekraft von Vorhersagen negativ beeinflussen können. Beispiele für Wahrnehmungsverzerrungen sind die fehlende Berücksichtigung neuer Informationen, die überproportionale Gewichtung leicht zugänglicher Informationen und die Vernachlässigung statistischer Eigenschaften von Informationen. Ursächlich für diese Wahrnehmungsverzerrungen ist die Anwendung von Heuristiken³⁰¹, die sich der Mensch bei der Entscheidungsfindung zur Bewältigung der Komplexität seiner Umwelt zu nutze macht, obwohl deren Eignung für viele Problemstellungen gar nicht gegeben ist. Ein Grund für die Anwendung von Heuristiken kann darin gesehen werden, dass die vorhandenen Methoden Entscheidungsträger häufig dazu zwingen, Schätzungen über ihre Zuversicht, Prognosen oder subjektive Wahrscheinlichkeiten von zukünftigen Ereignissen in Zahlenwerten anzugeben. Dieser Zwang steht der Tatsache entgegen, dass Menschen Informationen üblicherweise in Form von verbalen Beschreibungen verarbeiten statt Kennzahlen zu berechnen. Die damit einhergehenden zusätzlichen geistigen Anstrengungen begünstigen die Anfälligkeit des Menschen für wahrnehmungsverzerrte Schlussfolgerungen.³⁰²

³⁰⁰ Vgl. Kapitel 2.5 und 4.2.3

³⁰¹ Vgl. Kapitel 4.2.3

³⁰² Vgl. Zimmer (1984), S. 123

Die Fuzzy Set Theorie bietet eine der menschlichen Denkweise angepasste Möglichkeit der Verarbeitung verbaler Informationen, wodurch Daten und Beziehungen realer Problemstellungen mit der vom Entscheidungsträger gesehenen Genauigkeit adäquat modelliert werden können.³⁰³ Insbesondere auch dort, wo die realen Problemstellungen keine zweiwertige Struktur der klassischen Mengenlehre aufweisen, kann die Fuzzy Set Theorie wertvolle Hilfe bei der Lösungsfindung bieten.³⁰⁴ Ein weiterer Vorteil unscharfer Modelle im Vergleich zu deterministischen und stochastischen Modellen besteht in dem geringeren Informationsaufwand. Häufig können Entscheidungen bereits getroffen oder der größte Teil der Handlungsalternativen ausgeschlossen werden, wenn Ergebnisse und Entwicklungen größenordnungsmäßig eingeschätzt werden können. Dazu kann in der Regel auf vorhandene und leicht zu beschaffende Informationen zurückgegriffen werden. Stattdessen mündet die Beschreibung von Entscheidungssituationen häufig in scharfen Modellen, welche das reale Problem nicht richtig widerspiegeln, da nur größenordnungsmäßig bekannte Daten zu eindeutigen reellen Zahlen verdichtet werden müssen. Hierfür ist regelmäßig eine aufwändige Bestimmung mittlerer Werte zur vermeintlich wirklichkeitsnahen Beschreibung von scharfen Modellparametern durch reelle Zahlen erforderlich.³⁰⁵ Bei mathematischen Optimierungsmodellen sind die Lösungen vielfach nur von wenigen Restriktionen abhängig und die Mehrzahl der Informationen unnötig, gerade bei größeren Systemen, was dem erheblichen Informationsaufwand zur Bestimmung aller Koeffizienten und Restriktionen entgegensteht. Basierend auf den Lösungen des unscharfen Entscheidungsmodells kann der Entscheidungsträger gegebenenfalls die zielgerichtete Beschaffung zusätzlicher Informationen unter Berücksichtigung von Kosten und Nutzen vornehmen, wodurch der Aufwand für die Informationsbeschaffung deutlich reduziert werden kann.³⁰⁶

Unsicherheit und Unschärfe von Informationen sind für die Problemstellungen des Managements, insbesondere in strategischen Fragestellungen aufgrund der Komplexität der Wirkungsbeziehungen und des hohen Aggregationsgra-

³⁰³ Vgl. Rommelfanger (1988), S. 6

³⁰⁴ Vgl. Zimmermann (1993), S. VII

³⁰⁵ Vgl. Rommelfanger (2009), S. 1505, 1511

³⁰⁶ Vgl. Rommelfanger (2004), S. 296

des in dieser Planungsebene, charakteristisch. Trotz des vorliegenden Mangels an Informationen benötigt das Management Methoden zur Aufbereitung der verfügbaren Informationen, mit denen eine möglichst rationale Entscheidungsfindung gelingt. Von Entscheidungsträgern bewusst unscharf formulierte Aussagen würden in einem scharf definierten Entscheidungsmodell verkürzt und mit einem Verlust an semantischem Gehalt beziehungsweise logischen Spielräumen abgebildet werden.³⁰⁷ Mit Hilfe der Fuzzy Set Theorie kann die Struktur und das Verhalten hochkomplexer Systeme durch die Erfassung von Mustern anhand weniger Schlüsseldaten zwar unscharf, aber richtig abgebildet werden. Durch die Identifikation wesentlicher Systemzusammenhänge genügt ein Bruchteil der Daten zur Charakterisierung eines Systems, wobei auch die nicht gemessenen Daten durch die Datenvernetzung implizit miterfasst werden. Daraus ergeben sich enorme Effizienzsteigerungen und die Realität lässt sich unter Einbeziehung qualitativer und quantitativer Daten repräsentativ modellieren, mathematisieren und programmieren.³⁰⁸

Die Fuzzy Set Theorie ermöglicht die Verarbeitung unscharfer Informationen und ist insbesondere durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Modellierung von Unschärfe,
- Definition von Systemverhalten durch umgangssprachliche Begriffe,
- Modellierung nichtlinearer Zusammenhänge,
- Entwicklung von Systemen, für die keine mathematischen Modelle existieren,
- Berücksichtigung vieler Parameter,
- Übertragbarkeit von Unschärfe in klassische scharfe Modelle.³⁰⁹

Das Anwendungspotential der Fuzzy Set Theorie für betriebswirtschaftliche Fragestellungen steigt mit der sich aus der Komplexität und Dynamik der Unternehmensumwelt ergebenden Notwendigkeit, Unschärfe zur zielorientierten Führung von Unternehmen systematisch in die Planungs- und Entscheidungsprozesse einzubeziehen. Bislang dominieren scharfe Konzepte die Manage-

³⁰⁷ Vgl. Ossadnik (2009), S. 374 - 375

³⁰⁸ Vgl. Vester (2005), S. 55, 99, 181, 257 und Kapitel 2.5

³⁰⁹ Vgl. Mißler-Behr (2001), S. 3 - 4

mentmethoden und -instrumente. Die Identifikation von Unbestimmtheit in den bestehenden Methoden und Instrumenten und die Integration der Fuzzy Set Theorie in die Planungs- und Entscheidungsprozesse zur Abbildung unscharfer Zusammenhänge stellen einen möglichen Ansatzpunkt zur Nutzung des Anwendungspotentials der Fuzzy Set Theorie dar.³¹⁰ Für den spezifischen Anwendungsfall muss überprüft werden, inwieweit eine Adaption oder eine Neuentwicklung von Methoden und Instrumenten zweckmäßig ist. In Anbetracht der aktuellen und zukünftigen Herausforderungen an Unternehmen erscheint es sinnvoll, die Fuzzy Set Theorie zur Verarbeitung vorhandenen unscharfen Wissens von Experten in die Entscheidungsfindung einzubeziehen und damit die Qualität von Entscheidungsgrundlagen zu verbessern beziehungsweise zweckmäßige Entscheidungsgrundlagen überhaupt erst entwickeln zu können.

Der Einsatz der Fuzzy Set Theorie zur Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Unternehmensplanung ist ein noch junges Forschungsgebiet³¹¹, zu dessen Weiterentwicklung die vorliegende Arbeit einen Beitrag leistet.

5.2 Untersuchung der Eignung der Fuzzy Set Theorie zur Modellierung von Problemstellungen in der Technologiefrühaufklärung

5.2.1 Technologiefrühaufklärung und Fuzzy Set Theorie im Kontext der strategischen Unternehmensplanung

Technologien stellen für viele Unternehmen Ressourcen von oberster Bedeutung zur Erzielung von Wettbewerbsvorteilen dar. Der technologische Wandel ist einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Wettbewerbssituation eines Unternehmens, der die Integration von Strategien und Technologien erfordert.³¹² Eingebunden in die strategische Unternehmensplanung sind die Fragestellungen in der Technologiefrühaufklärung zunächst wenig strukturiert sowie in einer komplexen Unternehmensumwelt zu beantworten. Das Eintreten

³¹⁰ Vgl. Mißler-Behr (2001), S. 4, 82 sowie die Ausführungen in Kapitel 4.3

³¹¹ Vgl. Hauke (1998), S. 176

³¹² Vgl. Burgelman; Christensen; Wheelwright (2009), S. 2, 4, 7 - 8

bestimmter zukünftiger Ereignisse ist aufgrund der Langfristigkeit des Planungszeitraums mit großer Unsicherheit behaftet. Planungsrelevante Informationen liegen häufig nur in qualitativer Form vor und Zusammenhänge zwischen verschiedenen Einflussfaktoren sowie mögliche Folgen sind unbekannt, unvollständig oder nur unscharf beschreibbar. Viele Bewertungen und Einschätzungen von Situationen und Ergebnissen sind subjektiv.³¹³ Die Vorhersagen bestimmter Entwicklungen erfolgen dann, statt durch genaue Zahlenangaben, mit Hilfe verbaler Formulierungen wie beispielsweise „hoch“, „mittel“ oder „niedrig“.³¹⁴ Die inhaltserhaltende Verarbeitung dieser unscharfen Informationen gestaltet sich mit den zur Verfügung stehenden scharfen Instrumenten und Methoden schwierig beziehungsweise erfolgt zum Teil auf fragwürdige Weise.³¹⁵ Durch die Vielzahl der zu spezifizierenden Variablen und Beziehungen innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung ist deren Abbildung mit Hilfe von mathematischen Modellen häufig nur für sehr einfache Problemstellungen möglich.³¹⁶ Im Unterschied zu den wohlstrukturierten betrieblichen Planungssystemen ist hinsichtlich der Güte der Realitätsabbildung und hinsichtlich der Quantifizierbarkeit und Verlässlichkeit der Planungsergebnisse in der Technologiefrühaufklärung ein anderes Planungsverständnis und eine hohe Flexibilität des Planungssystems gegenüber sich häufig ändernden Realitätsabbildungen erforderlich.³¹⁷ Mit dem Schlüsselkonzept der Linguistischen Variablen³¹⁸ verfügt die Fuzzy Set Theorie über eine effektive Methode zur Ausnutzung der Toleranz von Unschärfe und Unsicherheit bei den Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung zur Erzielung lenkbarer, robuster und wirtschaftlicher Problemlösungsmodelle.³¹⁹

³¹³ Vgl. Werners (1993), S. 77

³¹⁴ Vgl. Spengler (1999), S. 128

³¹⁵ Vgl. hierzu auch Kapitel 2.5

³¹⁶ Vgl. Rommelfanger (1997), S. 175

³¹⁷ Vgl. Koller (2002), S. 349

³¹⁸ Vgl. Kapitel 4.1.2

³¹⁹ Vgl. Zadeh (1995), S. 809

5.2.2 Technologiefrühaufklärung und Fuzzy Set Theorie aus prozessualer und methodischer Sicht

Um die Erarbeitung von Entscheidungsgrundlagen für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung zu unterstützen, stehen entlang des Technologiefrühaufklärungsprozesses zahlreiche Methoden und Instrumente zur Verfügung.³²⁰ Aus prozessualer Sicht steht in diesem Zusammenhang der Vorteil der Fokussierung und der Spezialisierung einzelner Methoden und Instrumente auf bestimmte Fragestellungen des Technologiemanagements dem Nachteil der methodischen Fragmentierung des Technologiefrühaufklärungsprozesses entgegen. Zudem beeinflussen die Art und die Anzahl der eingesetzten Methoden und Instrumente die Quantität und die Qualität der erfassbaren entscheidungsrelevanten Informationen und deren Weiterverarbeitungsmöglichkeiten zu Entscheidungsgrundlagen, aber auch die Beherrschbarkeit des Technologiefrühaufklärungsprozesses. Durch die methodische Fragmentierung können aufwändige Transformationen der Beschreibungsformate der zu verarbeitenden Informationen erforderlich werden, um diese in anderen Methoden und Instrumenten entlang des Technologiefrühaufklärungsprozesses nutzen zu können. Hierbei besteht die Gefahr von Informationsverlusten durch den Transformationsprozess oder eine Transformation der Informationen erweist sich sogar als unmöglich, wodurch eigentlich verfügbare Informationen nicht systematisch in die Erarbeitung der Entscheidungsgrundlagen einbezogen werden können. Gleichzeitig ist die Zusammenführung und Integration unterschiedlicher Informationsarten aus parallel eingesetzten Methoden und Instrumenten, beispielsweise zur Auswertung unterschiedlicher Informationsquellen, nicht systematisch ausgearbeitet.³²¹ Die Integration der Fuzzy Set Theorie in den Technologiefrühaufklärungsprozess bietet Ansatzpunkte zur Überwindung der methodischen Fragmentierung bei gleichzeitiger inhaltserhaltender Verarbeitung der Informationen. Die Fuzzy Set Theorie umfasst Konzepte zur Fuzzifizierung, Inferenz und Defuzzifizierung beziehungsweise linguistischen Approximation von Informationen³²², die als Transformationsvorschriften verstanden werden können. Auf diese Weise kann sowohl die

³²⁰ Vgl. Kapitel 3.5

³²¹ Vgl. Mieke (2006), S. 37 - 39, 42

³²² Vgl. Kapitel 6.2.1

Umwandlung als auch die Verknüpfung von Beschreibungsformaten der aus bestimmten Methoden und Instrumenten hervorgehenden Informationen in die erforderlichen Beschreibungsformate zur Weiterverarbeitung in anderen Methoden und Instrumenten gelingen.³²³

In hochdynamischen Beobachtungsfeldern wie der Technologiefrühaufklärung haben insbesondere informelle Informationsquellen eine sehr große Bedeutung, da formale Informationen schnell veralten. In diesem Zusammenhang überwiegen Methoden und Instrumente, die auf der Interaktion zwischen unternehmensinternen und -externen Experten basieren, beispielsweise in Form von Gesprächen, Diskussionen oder Workshops.³²⁴ Da dieses Expertenwissen nicht nur auf bewiesenen Theorien, sondern zu einem großen Teil auf verbal formulierten Erfahrungen basiert, ergeben sich aus methodischer Sicht besondere Anforderungen an die Methoden und Instrumente zur Informationserfassung und -bewertung innerhalb der Technologiefrühaufklärung. Die Fuzzy Set Theorie bietet geeignete Konzepte zur Modellierung und Handhabung dieses Expertenwissens.³²⁵ Mit Hilfe der Konzepte der Fuzzy Set Theorie gelingt die Verbindung der Darstellung von Informationen auf sprachlicher Ebene in Form von linguistischen Variablen und WENN-DANN-Regeln mit der numerischen Darstellung von Informationen in Form von Zahlen, Messwerten und Kennfeldern. Durch die sprachliche Darstellung von Wissen können Informationen aus unscharfen Bewertungen und Einschätzungen in einer dem menschlichen Informationsverarbeitungsprozess adäquaten Weise inhaltserhaltend verarbeitet und in verständlicher und leicht modifizierbarer Form abgebildet werden.³²⁶

Die Ausführungen der vorangegangenen Abschnitte verdeutlichen, dass die Fuzzy Set Theorie Möglichkeiten bietet, die Bearbeitung der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung nicht nur methodisch zu unterstützen, sondern auch durch adäquatere Modellierungskonzepte für die Entscheidungssituationen der Technologiefrühaufklärung zu verbessern. Nachfolgend wird die Eignung der Fuzzy Set Theorie für die Modellierung von Entscheidungssituatio-

³²³ Vgl. Kapitel 6.3.3

³²⁴ Vgl. Reger (2001), S. 82 - 83

³²⁵ Vgl. Rommelfanger (1997), S. 176

³²⁶ Vgl. Pfeiffer et al. (2002b), S. 520 sowie die Ausführungen in Kapitel 4.1.2

nen in der Technologiefrühaufklärung im Vergleich mit anderen Theorien zur Verarbeitung von Unbestimmtheit systematisch untersucht und dadurch der Ansatz dieser Arbeit begründet.

5.2.3 Validierung der Theorieauswahl für den Forschungsansatz

Für die Modellierung von Entscheidungssituationen stehen zahlreiche Theorien zur Verfügung, die sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften und der Anwendungsmöglichkeiten unterscheiden. Aus diesem Grund muss die Auswahl einer Theorie zur Modellierung einer Entscheidungssituation in Abhängigkeit von den abzubildenden realen Gegebenheiten und vom Modellierungszweck erfolgen.³²⁷ Diese Arbeit fokussiert auf die Modellierung des Technologiefrühaufklärungsprozesses mit dem Ziel der Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung. Diese Zielstellung soll durch die konsequente Berücksichtigung der gegebenen Art der Unbestimmtheit der Informationen in dieser Entscheidungssituation und den damit verbundenen speziellen Anforderungen an die Planungsaufgaben erreicht werden.³²⁸ Insbesondere die bisher in der Technologiefrühaufklärung vernachlässigte systematische Einbeziehung unscharfer Informationen steht hierbei im Vordergrund. Zur Identifikation einer geeigneten Theorie für die bestmögliche Modellierung einer gegebenen Unbestimmtheitssituation sind verschiedene Kriterien von Bedeutung. Anhand der Kriterien des vorgestellten Klassifikationsschemas zur Beschreibung von Unbestimmtheitssituationen und Unbestimmtheitstheorien in Kapitel 2.4 soll im Folgenden die Eignung der Fuzzy Set Theorie zur Modellierung der Unbestimmtheit innerhalb des Technologiefrühaufklärungsprozesses gezeigt werden. Zunächst wird die Unbestimmtheitssituation in der Technologiefrühaufklärung mit Hilfe des Klassifikationsschemas beschrieben. Anschließend erfolgt die vergleichende Betrachtung gebräuchlicher Unbestimmtheitstheorien anhand des Klassifikationsschemas. Die Qualität der Übereinstimmung der Charakteristika der untersuchten Unbestimmtheitstheorien und der vorliegenden Unbestimmtheitssituation wird

³²⁷ Vgl. Kapitel 2.3

³²⁸ Vgl. Kapitel 2.2

schließlich als Indikator für die Eignung der Theorien zur Modellierung der Unbestimmtheit innerhalb der Technologiefrühaufklärung herangezogen.³²⁹

5.2.3.1 Analyse der Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung

Als Gründe für die Unbestimmtheit innerhalb der Entscheidungssituationen der Technologiefrühaufklärung können grundsätzlich alle benannten Dimensionen dieses Kriteriums in Erscheinung treten. Unsicherheit und Unschärfe von Informationen sind charakteristisch für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung.³³⁰ Ursächlich sind zum einen der Mangel an Informationen über das tatsächliche Eintreten zukünftiger Ereignisse, wie beispielsweise die Entdeckung neuartiger Technologien oder die Herausbildung neuartiger Kundenanforderungen. Zum anderen sind die komplexen Wirkungsbeziehungen technologischer und technologierelevanter Einflussfaktoren sowie deren inhaltliche Bestimmung selbst begründend für den Mangel an begrifflicher Schärfe in der Technologiefrühaufklärung, da diese häufig unbekannt sind oder nur unvollständig oder unscharf beschrieben werden können. Dies trifft in der Regel beispielsweise auf Aussagen über das Entwicklungspotential, die Höhe der zu erwartenden Entwicklungskosten oder den Verfügbarkeitszeitpunkt bestimmter Technologien zu. Resultierend aus der Schwierigkeit, nicht alle notwendigen Einflussfaktoren und Wirkungsbeziehungen für die Entscheidungsfindung in der Technologiefrühaufklärung hinreichend erfassen zu können, müssen die Entscheidungen regelmäßig auf der Basis unvollständiger objektiver Informationen getroffen werden. Unter diesen Bedingungen werden zur Entscheidungsfindung in der Technologiefrühaufklärung häufig subjektive Informationen in Form von Expertenmeinungen herangezogen. Trotz des Fachwissens basieren die Aussagen von Experten zu einem großen Teil auf Annahmen, die aus Erfahrungen und den zur Verfügung stehenden unvollkommenen objektiven Informationen abgeleitet werden. Die Subjektivität dieser Informationen kann als ein weiterer Grund für die Unsicherheit und Unschärfe in der Technologiefrühaufklärung gesehen werden.³³¹ Als Folge der zunehmenden Komplexität

³²⁹ Vgl. Zimmermann (1999), S. 298 und Zimmermann (1997), S. 92

³³⁰ Vgl. Kapitel 2.2 und Kapitel 5.2.1

³³¹ Vgl. Zimmermann (1999), S. 293. Zimmermann bezeichnet diesen Unbestimmtheitsgrund als Informationsmangel im objektiven Sinne beziehungsweise als Glauben, wel-

der Problemstellungen der Technologiefrühaufklärung³³² sind auch widersprüchliche Informationsmengen hinsichtlich des wahren Verhaltens eines Systems als Auslöser von Unsicherheit und Unschärfe denkbar, deren Ursachen zum Beispiel falsche, als solche aber nicht erkannte Informationen, oder Informationen, die auf nicht relevanten Eigenschaften des Betrachtungsobjektes basieren, oder die Verwendung eines ungeeigneten Beschreibungsmodells für die gegebene Situation sein können.³³³

Als weiteres Kriterium des Klassifikationsschemas zur Beurteilung der Eignung einer Unsicherheitstheorie für die Modellierung einer bestimmten Entscheidungssituation ist die Art der vorliegenden Informationen zu untersuchen. In der Technologiefrühaufklärung müssen Fragestellungen in einer komplexen und dynamischen Unternehmensumwelt beantwortet werden. Planungsrelevante Informationen liegen häufig nur in qualitativer Form vor und zahlreiche Bewertungen und Einschätzungen von Situationen und Ergebnissen sind subjektiv und können nur unscharf verbal formuliert werden.³³⁴ Als Mittel der menschlichen Kommunikation sind linguistische, unscharfe Informationen als gegebene und notwendige Informationsart innerhalb der Entscheidungssituationen der Technologiefrühaufklärung zu akzeptieren.³³⁵ Neben linguistischen Informationen sind auch numerische Informationen charakteristisch für Entscheidungssituationen in der Technologiefrühaufklärung. Beispielsweise könnten Zahlen über Patente oder Publikationen auf einem bestimmten technologischen Gebiet, quantitative Beschreibungen über die Eigenschaften einer Technologie oder Prognosen über deren Marktpotential vorliegen. Auch intervallwertige Informationen sind in diesem Zusammenhang denkbar, da einem bestimmten Parameter einer Technologie möglicherweise kein genauer Zahlenwert zugeordnet und nur ein Intervall, in dem die Werte des Parameters

cher in Form von subjektiven Glaubenssätzen Informationen über das Verhalten eines Systems enthält.

³³² Vgl. Kapitel 3.1 und Kapitel 2.5

³³³ Vgl. Zimmermann (1999), S. 292. Zimmermann bezeichnet diesen Unbestimmtheitsgrund als konfliktäre Evidenz.

³³⁴ Vgl. Kapitel 5.2.1

³³⁵ Vgl. Zimmermann (1999), S. 295. Linguistische Informationen sind Informationen, die in Form einer natürlichen Sprache zur Verfügung stehen (vgl. ebenda, S. 295). Erst durch die systematische Berücksichtigung dieser Informationen werden die Voraussetzungen für die Realisierung der Zielstellungen dieser Arbeit geschaffen.

schwanken, angegeben werden kann.³³⁶ Werden zur Darstellung von Informationen Symbole, wie Zahlen, Buchstaben, Bilder oder Worte verwendet, ist die Aussagefähigkeit der Informationen von der semantischen Definition der Symbole abhängig.³³⁷ Innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung kann angenommen werden, dass symbolische Informationen überwiegend in Form von Zahlen und Wörtern der natürlichen Sprache vorliegen.

Die Informationen innerhalb der Technologiefrühaufklärung können auf verschiedenen Skalenniveaus vorliegen. Nominalskalen klassifizieren qualitative Eigenschaftsausprägungen und dienen der Unterscheidung von Objekten. Beispiele für Nominalskalen sind das Geschlecht, auf der die Unterscheidung in männlich oder weiblich vorgenommen wird, oder Farben, welche Objekte beispielsweise nach den Eigenschaftsausprägungen rot, gelb, grün oder blau klassifiziert. Auf einer Ordinalskala lassen sich Objekte in eine Rangordnung bringen, ohne dass auf diesem Skalenniveau eine konkrete Aussage über die Abstände der geordneten Objekte zueinander gemacht werden kann. Beispielsweise könnte das Produkt A besser als das Produkt B bewertet werden. Eine Aussage darüber, um wie viel das Produkt A besser eingeschätzt wird, ist aber auf dieser Skala nicht möglich. Kardinalskalen enthalten zusätzlich Informationen über die Differenzen der geordneten Objekte und werden in Intervall- und Verhältnisskalen unterschieden. Eine Intervallskala besitzt gleich große Skalenabschnitte und enthält beispielsweise als Celsius-Skala zur Temperaturmessung auch Informationen über die Höhe des Temperaturunterschieds zwischen den gemessenen Werten. Bei Verhältnisskalen existiert im Unterschied zu Intervallskalen ein natürlicher Nullpunkt der gemessenen Eigenschaft. Beispiele sind physikalische Eigenschaften, wie Gewicht und Geschwindigkeit, oder ökonomische Eigenschaften, wie Gewinn und Kosten. Auf welchem Skalenniveau eine Information erfasst beziehungsweise die Ausprägung einer Eigenschaft eines Objektes gemessen werden können, ist von der Art der untersuchten Eigenschaft des Objektes abhängig. Innerhalb der Technologiefrühaufklärung kann davon ausgegangen werden, dass Informationen

³³⁶ Vgl. Zimmermann (1999), S. 295. Intervallwertige Informationen sind im Sinne einer reellen Zahl ungenau, denn sie beschreiben für eine Variable oder Werte von Variablen Intervalle. Dennoch ist diese Art der Informationen als zweiwertig zu interpretieren, da die Grenzen der Intervalle exakt definiert sind und keine stetigen Übergänge haben (ebenda, S. 295).

³³⁷ Vgl. ebenda, S. 295

auf allen beschriebenen Skalenniveaus vorliegen können. Welches Skalenniveau bezüglich einer bestimmten Fragestellung dominiert, ist von den Rahmenbedingungen abhängig, unter denen die Technologiefrühaufklärung durchgeführt wird. Beispielsweise können die relevanten Technologien beziehungsweise Technologiefelder oder die Branche eines Unternehmens Einfluss auf die Messbarkeit und das Skalenniveau von Informationen haben. Bei neuartigen oder weitgehend noch unerforschten Technologien lassen sich häufig keine konkreten Aussagen über zukünftig mögliche Ausprägungen der Eigenschaften dieser Technologien treffen. In diesem Fall werden die Informationen nur auf einem niedrigeren Skalenniveau zu erheben sein, als bei der Betrachtung und Bewertung von Schlüssel- oder Basistechnologien.³³⁸ Werden erfolgreich eingesetzte Technologien einer Branche für Anwendungsfelder in einer anderen Branche untersucht, können auch in diesem Fall Informationen nur auf einem niedrigen Skalenniveau messbar sein, wenn für das neue Anwendungsfeld belastbare und konkrete Informationen noch nicht existieren.

Durch die Art und das Skalenniveau der vorliegenden Informationen werden die Informationsverarbeitungsanforderungen und -möglichkeiten maßgeblich bestimmt.³³⁹ Der Aussagegehalt und die mathematischen Verarbeitungsmöglichkeiten von Informationen vergrößern sich mit steigendem Skalenniveau.³⁴⁰ Arithmetische Rechenoperationen sind auf nominalem Skalenniveau nicht möglich, durch Zählen der Merkmalsausprägungen können aber Häufigkeiten ermittelt werden. Auch auf ordinalem Skalenniveau sind keine arithmetischen Operationen zulässig. Neben Häufigkeiten können beispielsweise der Median oder Quantile berechnet werden. Für Intervallskalen sind Addition und Subtraktion zulässige arithmetische Operationen. Zusätzlich zu den statistischen Maßen der Nominal- und der Ordinalskala sind auf einer Intervallskala beispielsweise das arithmetische Mittel und die Standardabweichung berechenbar. Verhältnisskalen ermöglichen neben der Summe und der Differenz Aussagen über den Quotienten beziehungsweise das Verhältnis der gemessenen

³³⁸ Vgl. Kapitel 3.2 zur Definition von Schrittmacher-, Schlüssel- und Basistechnologien

³³⁹ Vgl. Zimmermann (1999), S. 296

³⁴⁰ Vgl. Backhaus et al. (2011), S. 11

Ausprägungen sowie die Anwendung weiterer statistischer Maße, wie das geometrische Mittel und den Variationskoeffizienten.³⁴¹

Unter Berücksichtigung dieser formalen Voraussetzungen kann die Informationsverarbeitung innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung grundsätzlich durch alle im Klassifikationsschema gegebenen Möglichkeiten erfolgen. In Abhängigkeit von den zur Verfügung stehenden beziehungsweise eingesetzten Methoden und Instrumenten zur Technologiefrühaufklärung sind sowohl algorithmische als auch wissensbasierte oder heuristische Vorgehensweisen zur Verarbeitung der unterschiedlichen Arten von Eingangsinformationen denkbar beziehungsweise erforderlich.³⁴² Heuristiken finden zur Verarbeitung von Informationen Anwendung, wenn für die Entscheidungsfindung die Motivation oder die Fähigkeit fehlen, systematische und umfassende datengeleitete Analysen aller zur Verfügung stehenden Informationen durchzuführen und mit Hilfe komplexer Entscheidungsregeln in die Urteilsbildung zu integrieren. Stattdessen erfolgt die Entscheidungsfindung theoriegeleitet anhand minimaler kognitiver Ressourcen durch die Konzentration auf die für den Einsatz einfacher Entscheidungsregeln, Schemata, Stereotypen oder kognitiver Heuristiken notwendigen Informationen.³⁴³ Diese Art der Informationsverarbeitung erscheint wegen der Komplexität der Entscheidungssituationen innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung von wesentlicher Bedeutung, da entsprechende adäquate mathematische Modelle zur Entscheidungsunterstützung in der Regel nicht zur Verfügung stehen und die Bewertung von Informationen auf der Basis von Erfahrungen und subjektiven Einschätzungen erfolgt. Zunehmend werden unbestimmte Informationen auch in wissensbasierten Systemen³⁴⁴ verarbeitet, wobei dies nicht zwingend durch mathematische Algorithmen geschehen muss.³⁴⁵ Insbesondere die Möglichkeit, menschliches Wissen adäquat zu modellieren und bedeutungserhaltend mit Hilfe von Computern zu verarbeiten, um hierdurch die Entscheidungsfin-

³⁴¹ Vgl. Backhaus et al. (2011), S. 10 - 11 und Schwarz (2002), S. 119 - 123

³⁴² Vgl. Kapitel 3.5

³⁴³ Vgl. Betsch; Funke; Plessner (2011), S. 43 - 44 und Kapitel 4.2.3 und Kapitel 5.1

³⁴⁴ Vgl. Kapitel 6.2

³⁴⁵ Vgl. Zimmermann (1999), S. 296

dung bei komplexen Problemstellungen zu unterstützen, erweist sich auch für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung von großer Bedeutung.³⁴⁶

Entsprechend des vorgesehenen Nutzungszwecks der Ausgangsinformationen, beispielsweise als Eingangsgrößen für mechanische oder elektronische Systeme, für mathematische Algorithmen, zur Mustererkennung oder zur Beschreibung und Vorhersage des Verhaltens von sozio-technischen Systemen, müssen die Ausgangsinformationen des Informationsverarbeitungsprozesses in einer geeigneten Sprache und auf einem angemessenen Skalenniveau zur Verfügung gestellt werden.³⁴⁷ Adäquate Ausgangsinformationen für die Weiterverarbeitung und die Entwicklung von Entscheidungsgrundlagen innerhalb der Technologiefrühaufklärung stellen vor allem numerische und linguistische Informationen dar. Nutzer der aus dem Technologiefrühaufklärungsprozess hervorgehenden Informationen ist in der Regel zunächst das strategische Management, welches anhand der Kennzahlen oder verbalen Beschreibungen über die technologischen und technologielevanten Entwicklungen der Unternehmensumwelt Entscheidungen über die strategische Ausrichtung des Unternehmens trifft.

Die als relevant identifizierten Dimensionen der Kriterien des zugrunde gelegten Klassifikationsschemas zur Beschreibung der Unbestimmtheit innerhalb der Technologiefrühaufklärung sind in Tabelle 9 grau unterlegt. An diesen Dimensionen werden im nächsten Schritt die Charakteristika gebräuchlicher Unbestimmtheitstheorien gespiegelt und deren Eignung zur Modellierung der Entscheidungssituationen innerhalb der Technologiefrühaufklärung analysiert.³⁴⁸

³⁴⁶ Vgl. Kapitel 2.5 und 5.1

³⁴⁷ Vgl. Zimmermann (2000), S. 196

³⁴⁸ Die Bestimmung der charakteristischen Merkmale der einbezogenen Unbestimmtheitstheorien orientiert sich an der Beurteilung dieser Theorien durch Zimmermann (vgl. Zimmermann (1997), S. 90 - 91). Detailliert soll in diesem Zusammenhang nur auf die einzelnen Charakteristika der Fuzzy Set Theorie eingegangen werden und fallweise auf bestimmte Eigenschaften der anderen Theorien. Eine einführende Beschreibung der Wahrscheinlichkeitstheorie nach Kolmogoroff findet sich in Kapitel 4.2.1. Für eine ausführliche Auseinandersetzung mit dieser und den anderen im Klassifikationsschema dargestellten Theorien wird auf die zahlreiche Literatur zu diesen Themen verwiesen.

Tabelle 9: Eignung gebräuchlicher Unbestimmtheitstheorien zur Modellierung von Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung

(Quelle: in Anlehnung an Zimmermann (1997), S. 90 - 91)

Kriterium	Dimension	FST	PT	WT-K	WT-B	WT-C	QW
Grund der Unbestimmtheit	Risiko	X	X	(X)	(X)	(X)	(X)
	Ungewissheit	X	X	(X)	(X)	(X)	(X)
	linguistische Unschärfe	X					
	informationale Unschärfe	X					
	relationale Unschärfe	X					
	Mischformen	X					
Verfügbare Eingangs- infor- mationen	numerisch	X	X	(X)	(X)	(X)	(X)
	intervallwertig	X					
	linguistisch	X	X				
	symbolisch						
Skalen- niveau	nominal	X					
	ordinal	X	X				X
	kardinal	X	X	X	X	X	
Informa- tionsver- arbeitung	algorithmisch	X	X	X	X	X	X
	wissensbasiert	X					
	heuristisch	X					
Erforderliche Ausgangs- infor- mationen	numerisch	X	X	X	X	X	
	intervallwertig	X	X				X
	linguistisch	X					
	symbolisch						
Legende: <ul style="list-style-type: none"> ▪ FST: Fuzzy Set Theorie ▪ PT: Possibility Theorie ▪ WT-K: Wahrscheinlichkeitstheorie (nach Kolmogoroff) ▪ WT-B: Wahrscheinlichkeitstheorie (nach Bayes) ▪ WT-C: Wahrscheinlichkeitstheorie (nach Carnap/Stegmueller bzw. Koopman) ▪ QW: Qualitative Wahrscheinlichkeiten ▪ (Hell)graues Feld: Die Dimension des Kriteriums trifft auf die Unbestimmtheitssituation im Technologiemanagement (teilweise) zu ▪ X: Die Unbestimmtheitstheorie deckt die Dimension dieses Kriteriums (eingeschränkt) ab 							

5.2.3.2 Analyse und Bewertung der Übereinstimmung von Merkmalen ausgewählter Unbestimmtheitstheorien mit der Charakteristik der Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung

In die vergleichende Betrachtung der Übereinstimmung von Merkmalen verschiedener Unbestimmtheitstheorien mit der Charakteristik der Unbestimmtheit innerhalb der Technologiefrühaufklärung werden mehrere Varianten der Wahrscheinlichkeitstheorie, die Possibilitätstheorie und die Fuzzy Set Theorie

einbezogen. Bei der Beurteilung der unterschiedlichen Unbestimmtheitstheorien hinsichtlich ihrer Eignung zur Modellierung der Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung verfolgt der Autor nicht das Ziel, eine einzelne optimale Theorie zu identifizieren, die für alle Arten von Unbestimmtheit einsetzbar ist. Jede der Unbestimmtheitstheorien hat im Rahmen ihrer gegebenen Konsistenzbedingungen und der damit verbundenen jeweiligen Stärken und Schwächen ihre Berechtigung und ein definiertes Anwendungsgebiet. Auf Basis dieses Verständnisses wird die Eignung der Unbestimmtheitstheorien für die Modellierung der Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung im Rahmen der mit den Zielstellungen dieser Arbeit verbundenen Anforderungen untersucht. Die anschließende Auswahl einer einzigen, dieser Arbeit als Grundlage dienenden Unbestimmtheitstheorie bedeutet in diesem Zusammenhang nicht, dass alle Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung allein durch den Einsatz dieser Theorie angemessen modelliert werden können beziehungsweise modelliert werden müssen. Vielmehr soll das Verbesserungspotential für die Entscheidungsgrundlagen der Technologiefrühaufklärung genutzt werden, welches sich durch den parallelen, ergänzenden Einsatz zusammen mit anderen Unbestimmtheitstheorien beziehungsweise durch den alternativen, adäquateren Einsatz dieser Theorie entsprechend der vorliegenden Unbestimmtheitssituation bietet.³⁴⁹

Die Ausführungen im vorangegangenen Abschnitt zeigen, dass die Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung auf vielfältige Gründe zurückgeführt werden kann.³⁵⁰ Die Bedeutung der einzelnen Unbestimmtheitsdimensionen steht sicherlich im Zusammenhang mit einer konkreten Fragestellung, dennoch können grundsätzliche Aussagen über die Eignung der verschiedenen Unbestimmtheitstheorien für die Modellierung der Entscheidungssituationen in der Technologiefrühaufklärung getroffen werden. Es wurde gezeigt, dass die Bedingungen zur Modellierung von Unsicherheit durch frequentistische beziehungsweise objektive Wahrscheinlichkeiten mit den Gegebenheiten in der Technologiefrühaufklärung nicht vereinbar sind.³⁵¹ Für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung kann weder angenommen werden, dass

³⁴⁹ Vgl. Nguyen (1997), S. 132 und Kapitel 4.2

³⁵⁰ Vgl. Tabelle 9

³⁵¹ Vgl. hierzu und im Folgenden Kapitel 4.2.1 und 4.2.3

Vorgänge in der Zukunft den Vorgängen in der Vergangenheit gleichen, weil die Entscheidungen regelmäßig unter neuartigen Bedingungen getroffen werden müssen, noch können gleichwahrscheinliche Elementarereignisse angenommen werden. Weiterhin wurde gezeigt, dass auch subjektive Wahrscheinlichkeiten für die Modellierung der Fragestellungen in der Technologiefrühaufklärung ungeeignet sind. Das menschliche Wahrscheinlichkeitsurteil weicht bei der subjektiven Bewertung unbestimmten Wissens oft systematisch von den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitstheorie ab. Zudem ist die Berücksichtigung und Abbildung von Unschärfe mit Hilfe von Wahrscheinlichkeiten, beispielsweise zur Bestimmung von Zugehörigkeitsfunktionen, bestenfalls als Näherungsverfahren zu sehen, welches das Wesen der Konzepte der Unschärfe nicht ersetzen kann.³⁵² Basierend auf den axiomatisch vorgegebenen, einschränkenden Anwendungsbedingungen und unter Berücksichtigung der psychologischen Erkenntnisse über das menschliche Wahrscheinlichkeitsurteil ist die Eignung der Wahrscheinlichkeitstheorien als adäquate Unbestimmtheitstheorien für das menschliche Urteilen bei Unsicherheit und Unschärfe und damit für die Modellierung von Problemstellungen in der Technologiefrühaufklärung grundsätzlich in Frage gestellt.

Die Fuzzy Set Theorie ist eine Theorie der Unschärfe.³⁵³ Dennoch eignet sich das Konzept der Fuzzy-Menge und der zugehörigen Operatoren auch zur Modellierung von Unsicherheit. Trotz der streng voneinander zu unterscheidenden Arten von Unbestimmtheit bestehen Zusammenhänge zwischen Unschärfe und Unsicherheit. Beispielsweise verlaufen Zugehörigkeitsfunktionen und empirische Häufigkeitsverteilungsfunktionen der Zuordnung von Objekten zu natürlich-sprachlichen Kategorien ähnlich beziehungsweise können diese auch übereinstimmen. Zudem entsprechen Zugehörigkeitsgrade typischerweise der subjektiven Unsicherheit, mit der ein Element einer bestimmten Kategorie zugeordnet wird.³⁵⁴ Hieraus folgt, dass die Konzepte der Fuzzy Set Theorie neben der Verarbeitung unscharfer Informationen auch die Möglichkeit bieten, unsichere Informationen innerhalb der Entscheidungssituationen der Technologiefrühaufklärung zu berücksichtigen.

³⁵² Vgl. Nguyen (1997), S. 131 und Kapitel 4.2.2

³⁵³ Vgl. Kapitel 2.2 und Kapitel 4.1.1

³⁵⁴ Vgl. Biewer (1997), S. 264

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass menschliches Schließen in der Regel approximativer Natur ist und die in der natürlichen Sprache enthaltene Unsicherheit vorwiegend possibilistischen und nicht probabilistischen Ursprungs ist, wurde auf Basis der Fuzzy Set Theorie eine eigenständige Unsicherheitstheorie, die Possibilitätstheorie, zur Modellierung von Unsicherheit entwickelt.³⁵⁵ Im Vergleich zu Wahrscheinlichkeitsurteilen stellen Möglichkeitsurteile in der natürlichen Sprache schwächere Formulierungen über das Eintreten eines Ereignisses dar und entsprechen der subjektiven Beurteilung der Möglichkeit, dass sich ein Ereignis bewahrheitet. Das Wahrscheinlichkeitsurteil und das Möglichkeitsurteil stehen dabei in Beziehung zueinander. Wahrscheinliche Ereignisse müssen auch mögliche Ereignisse sein, die Umkehrung gilt nicht immer. Unmögliche Ereignisse sind auch immer unwahrscheinliche Ereignisse.³⁵⁶ Obwohl die Konzepte und Operationen der Fuzzy Set Theorie auf Possibilitätsverteilungen übertragen werden können, unterscheiden sich Zugehörigkeitsgrade und Possibilitätsgrade in ihrer Bedeutung und beziehen sich weder auf die gleiche Aussage noch auf den gleichen Wissenstand. Ist die unscharfe Menge „junger Personen“ durch eine Zugehörigkeitsfunktion definiert und eine Possibilitätsverteilung über der Menge der Lebensjahre durch die Aussage „John ist jung“ induziert, dann gibt die Possibilitätsverteilung unter der Voraussetzung der Kenntnis, dass John jung ist, für den exakten Wert „28 Jahre“ den Grad der Möglichkeit an, zu dem die Aussage „John ist 28 Jahre alt“ zutrifft. Die Zugehörigkeitsfunktion drückt hingegen für die Kenntnis „John ist 28 Jahre alt“ den Grad der Kompatibilität dieses Faktes mit der unscharfen Menge „junger Personen“ aus.³⁵⁷ Die Possibilitätstheorie deckt aus der Unsicherheit von Informationen hervorgehende Unbestimmtheit ab, die Unschärfe von Informationen bleibt aber unberücksichtigt. Für die Fragestellungen der

³⁵⁵ Vgl. Biewer (1997), S. 264 - 265, 304. Begründet wurde die Possibilitätstheorie von Zadeh (1978). Insbesondere von Dubois und Prade (1988) wurde die Possibilitätstheorie weiterentwickelt und ausgearbeitet. Das eingeschränkte Bewusstsein für die speziellen, einschränkenden Voraussetzungen der Anwendbarkeit der Wahrscheinlichkeit und der vielfach unpassende Einsatz probabilistischer Begriffe werden von Demant beispielhaft an der Aussage „Morgen wird es wahrscheinlich regnen“ erläutert. Die Bedeutung des Wortes wahrscheinlich in dieser Aussage entspricht wegen der unscharfen Kenntnis über den kausalen Zusammenhang der Wetterentwicklung dem Möglichkeitsgrad, dass es morgen regnen wird. Weder die frequentistische noch die subjektive Wahrscheinlichkeitsdefinition entsprechen diesem Möglichkeitsgrad (vgl. Demant (1993), S. 100).

³⁵⁶ Vgl. Rommelfanger (1994), S. 50, 52

³⁵⁷ Vgl. Biewer (1997), S. 266

Technologiefrühaufklärung erscheint die Possibilitätstheorie damit nur eingeschränkt geeignet.

Zusammenfassend lässt sich für den Grund der Unbestimmtheit als Kriterium der Auswahl einer Unbestimmtheitstheorie sagen, dass die Fuzzy Set Theorie im Vergleich zu den anderen Unbestimmtheitstheorien die adäquateren und umfassenderen Konzepte für die Modellierung der Unbestimmtheit in den Entscheidungssituationen der Technologiefrühaufklärung bereitstellt. Einerseits kann die in der Natur dieser Planungsebene liegende Unschärfe von Informationen entsprechend berücksichtigt werden und zum anderen existieren Konzepte zur Erfassung von unsicheren Informationen, welche hinsichtlich der Anwendungsvoraussetzungen den Gegebenheiten in der Technologiefrühaufklärung und den menschlichen Informationsverarbeitungsprozessen besser gerecht werden als die untersuchten Alternativen.

Bezüglich des Kriteriums der verfügbaren Eingangsinformationen wurden für die Unbestimmtheitssituationen in der Technologiefrühaufklärung numerische, intervallwertige und linguistische Informationen als relevante Informationsarten identifiziert. Grundsätzlich sind alle untersuchten Unbestimmtheitstheorien in der Lage, numerische Informationen zu verarbeiten. Unter Berücksichtigung der axiomatisch und kognitiv begründeten eingeschränkten Anwendungsmöglichkeiten der einzelnen Wahrscheinlichkeitstheorien relativiert sich deren Eignung zur Verarbeitung numerischer Informationen innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung. Als problematisch erweist sich vor allem, dass die mit einem realen Entscheidungsproblem zusammenhängenden Gedanken, Empfindungen und Vorstellungen mit wahrscheinlichkeitstheoretischen Überlegungen nicht vollständig und präzise ausgedrückt werden können. Mit Hilfe statistischer Methoden kann zwar Unbestimmtheit aufgrund eines Mangels von Informationen mit stochastischem Charakter in die Modelle einbezogen werden. Die Verarbeitung von Unbestimmtheit aufgrund eines Mangels an begrifflicher Schärfe, die für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung von wesentlicher Bedeutung ist, insbesondere die Quantifizierung verbal formulierter qualitativer Daten und deren Berücksichtigung in den

Entscheidungsmodellen, bereitet an dieser Stelle große Schwierigkeiten und erfolgt zum Teil durch eine fragwürdige Vorgehensweise.³⁵⁸

Die Fuzzy Set Theorie umfasst vielfältige Konzepte und ermöglicht die Verarbeitung numerischer, intervallwertiger und linguistischer Informationen. Unscharfe Mengen können unterschiedlich interpretiert werden³⁵⁹ und bieten für die Zielstellungen dieser Arbeit die notwendige Flexibilität zur realitätsadäquaten Abbildung von Problemstellungen in der Technologiefrühaufklärung. Das bedeutet für das Kriterium der verfügbaren Eingangsinformationen, dass unsichere und unscharfe Informationen in der jeweils vorliegenden Art und Qualität erfasst werden können. Eine Anpassung der Informationen für die nachfolgenden Informationsverarbeitungsprozesse, die häufig zu einer unerwünschten Veränderung des Aussagegehaltes der Informationen führt, ist nicht erforderlich. Folglich kann der tatsächliche Aussagegehalt der Informationen erhalten werden und in den Entscheidungssituationen Berücksichtigung finden. Beispielsweise wird es einem Experten hierdurch ermöglicht, sein Wissen über zukünftige Entwicklungen in der natürlichen Sprache zu formulieren. Dadurch wird der Experte nicht gezwungen, die in der Situation begründete Unbestimmtheit seines Wissens durch scharfe Formulierungen oder konkrete Zahlen auszudrücken. Die Modellierung der Problemstellungen erfolgt in der Genauigkeit und Schärfe, in der die Informationen tatsächlich vorliegen.³⁶⁰ Die Entscheidungssituationen können den realen Gegebenheiten angemessen modelliert werden. Schätzfehler von Experten, die in der Auswahl eines zu einschränkenden theoretischen Rahmens des zugrunde gelegten Entscheidungsmodells begründet sind, können vermieden werden.³⁶¹ Zwar ermöglicht auch die Possibilitätstheorie die Verarbeitung numerischer und linguistischer Informationen, sie beschränkt sich in ihrem Anwendungsgebiet aber auf die Erfassung unsicherer Informationen und ist damit für die Fragestellungen in der Technologiefrühaufklärung nur begrenzt einsetzbar.

³⁵⁸ Vgl. Rommelfanger (1988), S. 4

³⁵⁹ Vgl. Kapitel 4.2.2

³⁶⁰ Vgl. Bandemer (1997), S. 61

³⁶¹ Vgl. Sibbel; Lutschewitz (2007), S. 40 - 41

Bezüglich des Skalenniveaus der zu verarbeitenden Informationen können innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung Informationen auf allen beschriebenen Skalenniveaus auftreten. In vielen Fällen werden diese aber nur linguistisch in Form von Expertenmeinungen und in diesem Zusammenhang oft lediglich auf nominalem oder ordinalem Skalenniveau vorliegen.³⁶² Grundsätzlich ist es möglich, Informationen von einem höheren Skalenniveau auf ein niedrigeres Skalenniveau zu transformieren, beispielsweise um durch die Bildung von Merkmalsausprägungsklassen die Übersichtlichkeit von Informationen zu erhöhen oder die Analyse von Informationen zu vereinfachen. In der Regel ist mit derartigen Transformationen aber ein Informationsverlust verbunden.³⁶³ Obwohl eine umgekehrte Vorgehensweise nicht möglich ist, werden häufig Unbestimmtheitstheorien mit mathematischen Operatoren verwendet, die dem erforderlichen Skalenniveau der zu verarbeitenden Informationen nicht entsprechen.³⁶⁴ Aufgrund der Tatsache, dass Wahrscheinlichkeitswerte metrisch skaliert sein müssen³⁶⁵, sind die Einsatzmöglichkeiten der Wahrscheinlichkeitstheorien auch bezüglich des Kriteriums Skalenniveau für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung sehr begrenzt. Für qualitative Wahrscheinlichkeiten und Möglichkeitswerte genügt zwar eine ordinale Skalierung³⁶⁶, daraus resultieren andererseits aber auch begrenzte Möglichkeiten, auf Basis dieser Unbestimmtheitstheorien rationale Entscheidungen treffen zu können.³⁶⁷

Hinsichtlich des Kriteriums der Informationsverarbeitung ergeben sich aus der Art der verfügbaren Informationen innerhalb der Technologiefrühaufklärung und deren Skalenniveaus einerseits entsprechende Anforderungen an die verwendeten mathematischen Operatoren für eine angemessene Verarbeitung von numerischen Informationen. Zudem sind geeignete Konzepte erforderlich, die linguistische Informationen verarbeiten beziehungsweise heuristische Schlussfolgerungsmechanismen abbilden können. Die Fuzzy Set Theorie stellt

³⁶² Vgl. Kapitel 2.5 sowie 5.2.1 und Nissen (2007), S. 13

³⁶³ Vgl. Backhaus et al. (2011), S. 11 - 12

³⁶⁴ Vgl. Zimmermann (1999), S. 296

³⁶⁵ Vgl. Rommelfanger (1994), S. 52

³⁶⁶ Vgl. Rommelfanger (1994), S. 52 und Zimmermann (1997), S. 91

³⁶⁷ Vgl. Spengler (1999), S. 124 - 125

entsprechende Konzepte zur Verfügung.³⁶⁸ In diesem Zusammenhang können die Konzepte der Fuzzy Set Theorie insbesondere einen wesentlichen Beitrag zur systematischen Modellierung der in den Heuristiken enthaltenen menschlichen Denkweisen und Schlussfolgerungsmechanismen leisten.³⁶⁹ Sie gewährleisten zum einen die inhaltserhaltende formale Abbildung des verfügbaren, sprachlich formulierten Wissens in einem Entscheidungsmodell. Zum anderen kann die Modellierung auch ohne detaillierte Kenntnisse über die Wirkungsbeziehungen einzelner Einflussfaktoren erfolgen und der Modellierungsaufwand entscheidend verringert beziehungsweise eine Modellierung hierdurch gegebenenfalls erst möglich werden. Darüber hinaus unterstützen die Konzepte der Fuzzy Set Theorie die wissensbasierte Informationsverarbeitung in Expertensystemen.³⁷⁰ Bei den untersuchten Wahrscheinlichkeitstheorien und der Possibilitätstheorie erfolgt die Informationsverarbeitung ausschließlich algorithmisch.

Auch bezüglich des Kriteriums der erforderlichen Ausgangsinformationen bieten die Konzepte der Fuzzy Set Theorie die notwendige Flexibilität, um in Abhängigkeit von bestimmten Entscheidungssituationen den unterschiedlichen Anforderungen der Technologiefrühaufklärung an die Informationsbereitstellung gerecht zu werden. Als relevante Informationsarten für die Entscheidungssituationen der Technologiefrühaufklärung wurden numerische und linguistische Ausgangsinformationen auf allen Skalenniveaus identifiziert, welche durch die Auswahl entsprechender Konzepte mit der Fuzzy Set Theorie abgebildet werden können. Die Möglichkeiten der Bereitstellung unterschiedlicher Ausgangsinformationsarten sind bei der Possibilitätstheorie auf numerische und intervallwertige unsichere Informationen beschränkt. Mit den Wahrscheinlichkeitstheorien können numerische beziehungsweise intervallwertige unsichere Informationen bereitgestellt werden, allerdings mit entsprechenden Ein-

³⁶⁸ Vgl. Kapitel 2.5, Kapitel 4.1 und Kapitel 5.1

³⁶⁹ Die modellbasierte Entscheidung hat gegenüber intuitiven oder heuristischen Entscheidungen den Vorteil, dass subjektive Vorstellungen offengelegt werden und deren Überprüfung auf Widerspruchsfreiheit sowie die Überprüfung der Ableitung der richtigen Konsequenzen für die Entscheidung aus den subjektiven Vorstellungen, das heißt, des verwendeten Kalküls, möglich ist (vgl. Hax (1974), S. 44 - 46).

³⁷⁰ Dieses Potential soll im Rahmen dieser Arbeit genutzt werden und ein wissensbasiertes System für die Technologiefrühaufklärung entwickelt werden, das zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen in der Technologiefrühaufklärung einen Beitrag leistet (vgl. hierzu Kapitel 6.2).

schränkungen hinsichtlich des notwendigen beziehungsweise realisierbaren Skalenniveaus der Informationen.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass sich die untersuchten Wahrscheinlichkeitstheorien und auch die Possibilitätstheorie für die Ausprägungen der Unbestimmtheit innerhalb der Problemstellungen der Technologiefrühaufklärung in der Regel als ungeeignet beziehungsweise nur eingeschränkt einsetzbar erweisen. Die Fuzzy Set Theorie kann die Unbestimmtheit in den Entscheidungssituationen der Technologiefrühaufklärung nicht beseitigen, aber sie bietet für die Modellierung der Entscheidungssituationen innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung im Vergleich geeignetere Konzepte zur Modellierung der gegebenen Unbestimmtheit und rechtfertigt damit den Ansatz dieser Arbeit.

Der Autor weist an dieser Stelle darauf hin, dass der situationsadäquate Einsatz anderer Unbestimmtheitstheorien für bestimmte Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung von dieser Auswahl unberührt bleibt und nicht ausgeschlossen wird. Es wird damit auch nicht unterstellt, dass die Fuzzy Set Theorie alle Arten von Unbestimmtheit adäquat modellieren kann. Unschärfe- und Unsicherheitstheorien sind als sich ergänzende Theorien für die Modellierung der Unbestimmtheit von Informationen in Entscheidungsmodellen innerhalb dieser Arbeit zu verstehen. Wenn die Anwendungsvoraussetzungen alternativer Unbestimmtheitstheorien, beispielsweise der Wahrscheinlichkeitstheorien, für spezifische Problemstellungen der Technologiefrühaufklärung erfüllt sind und die Entscheidungsunterstützung durch diese Theorien als zweckmäßig und zielführend eingeschätzt wird, ist deren ergänzender oder alternativer Einsatz in der Technologiefrühaufklärung aus Sicht des Autors gerechtfertigt und sinnvoll. Die sich daraus zwangsläufig ergebende Frage nach der formalen methodischen Verbindung der Theorien zur Verarbeitung von Unsicherheit beziehungsweise Unschärfe³⁷¹ soll im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht werden.³⁷²

³⁷¹ Beispielsweise findet sich im Bereich des Operations Research die Verknüpfung von Unsicherheits- und Unschärfekalkülen durch die unscharfe stochastische Programmierung, wobei diese Verknüpfung in Abhängigkeit von der realen Situation methodisch parallel oder kombiniert erfolgen kann (vgl. Rommelfanger (2007), S. 1894). Bei der kombinierenden Vorgehensweise werden Unschärfe und Unsicherheit inhaltlich gemeinsam als unscharfe stochastische Variablen verarbeitet, während bei der parallelen Vorge-

5.2.4 Zwischenfazit

Der Unsicherheit über zukünftige Entwicklungen begegnen Experten und Entscheidungsträger in der Regel durch Unschärfe in den Formulierungen über mögliche Ausprägungen von Einflussfaktoren und zukünftige Zustände innerhalb von Entscheidungssituationen. Dieser Tatsache muss die einem Entscheidungsmodell zugrunde liegende Theorie gerecht werden. Mit Hilfe des gewählten Klassifikationsschemas konnte die Eignung der Fuzzy Set Theorie zur Modellierung der Unbestimmtheit innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung aufgezeigt werden. Die Charakteristika der Fuzzy Set Theorie erfüllen im Vergleich zu anderen gebräuchlichen Unbestimmtheitstheorien die aus der gegebenen Unbestimmtheit innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung resultierenden Anforderungen an eine realitätsadäquate Modellierung der Entscheidungssituationen umfassender und angemessener.

Die Integration der Fuzzy Set Theorie in die Technologiefrühaufklärung kann zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen für technologische Fragestellungen in Unternehmen beitragen. Mit Hilfe der Konzepte der Fuzzy Set Theorie können die Qualität und die Quantität der im Technologiefrühaufklärungsprozess verarbeiteten Informationen erhöht werden. Die verfügbaren Informationen können mit der von Experten und Entscheidungsträgern gesehenen Genauigkeit in die Entscheidungsprozesse Eingang finden. Eine Modifikation der verfügbaren Informationen, um diese in scharfen Modellen verarbeiten zu können, ist nicht erforderlich. Dadurch kann die Reduzierung oder Verfälschung der Aussagekraft der Informationen vermieden werden. Gegebenenfalls gelingt mit Hilfe der Fuzzy Set Theorie erst die Verarbeitung und Nutzung von verfügbaren Informationen, die zuvor bei der Entscheidungsfindung nicht berücksichtigt werden konnten. Weiterhin können die Konzepte der Fuzzy Set Theorie als Transformationsvorschriften eingesetzt werden, wodurch die Überwindung der methodischen Fragmentierung des Technologiefrühaufklä-

hensweise Unschärfe und Unsicherheit inhaltlich getrennt durch stochastische und unscharfe Parameter abgebildet werden (vgl. Luhandjula (2006), S. 1357 - 1363).

³⁷² Wie gezeigt wurde, lassen sich mit den Konzepten der Fuzzy Set Theorie neben unscharfen Informationen auch unsichere Informationen abbilden, womit auch der vorhandenen Unsicherheit über die zukünftigen Entwicklungen innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung Rechnung getragen werden kann (vgl. Kapitel 4.2.2).

rungsprozesses möglich wird. Informationsverluste bei der Transformation von Beschreibungsformaten zwischen den eingesetzten Methoden und Instrumenten können verringert oder vermieden werden. Gegebenenfalls wird die Weiterverarbeitung von Informationen in anderen Methoden und Instrumenten oder die Zusammenführung und Integration unterschiedlicher Informationsarten aus parallel eingesetzten Methoden und Instrumenten überhaupt erst möglich. Die inhaltserhaltende Verarbeitung verfügbarer Informationen und die Überwindung der methodischen Fragmentierung mit Hilfe der Fuzzy Set Theorie können zu einer breiteren Informationsbasis und zu einem höheren Aussagegehalt der für die Entscheidungsfindung zur Verfügung stehenden Informationen und darüber zu einer Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen innerhalb der Technologiefrühaufklärung beitragen. Mit der Bereitstellung leistungsfähiger Transformationsvorschriften und geeigneter Konzepte zur realitätsadäquaten Abbildung und Verarbeitung von Informationen kann darüber hinaus auch der Beherrschungsaufwand des Technologiefrühaufklärungsprozesses reduziert werden. Tabelle 10 fasst das Verbesserungspotential des Forschungsansatzes dieser Arbeit zusammen.

Tabelle 10: Verbesserungspotential der Forschungsarbeit

(Quelle: Eigene Darstellung)

Technologiefrühaufklärungsprozess	bisher	Verbesserungspotential der Forschungsarbeit
Einbezogene Informationen	<ul style="list-style-type: none"> - sichere Informationen - unsichere Informationen <p>Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - nicht alle verfügbaren Arten von Informationen werden in die Entscheidungsfindung systematisch einbezogen → Folge: Für die Entscheidungsfindung potentiell bedeutende Informationen bleiben unberücksichtigt! - Informationen werden unter den oftmals nicht realitätsadäquaten Prämissen scharfer Methoden erhoben → Folge: Verlust der Aussagekraft oder Verfälschung der Informationen, ggf. ist eine Verarbeitung gar nicht möglich! 	<ul style="list-style-type: none"> - sichere Informationen - unsichere Informationen - Einbeziehung unscharfer Informationen → Verbesserungspotential: Durch die systematische Berücksichtigung unscharfer Informationen mit Hilfe der Fuzzy Set Theorie können die Informationsbasis vergrößert und Informationen inhaltserhaltend in die Entscheidungsprozesse integriert werden. Dadurch können Entscheidungsgrundlagen von höherer Qualität entwickelt werden!
Informationsverarbeitung	<ul style="list-style-type: none"> - methodische Fragmentierung des Entscheidungsprozesses als Ganzes und innerhalb seiner Teilprozesse <p>Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die systematische Umwandlung der Beschreibungsformate von Informationen beim Übergang in andere Methoden und Teilprozesse sowie die Zusammenführung von Informationen verschiedener Methoden ist bisher nicht hinreichend konzipiert → Folge: Verlust der Aussagekraft oder Verfälschung der Informationen möglich, ggf. ist eine Verarbeitung gar nicht realisierbar! 	<ul style="list-style-type: none"> - Bereitstellung systematischer Transformationsvorschriften für die Umwandlung der Beschreibungsformate von Informationen → Verbesserungspotential: Durch systematische Transformationsvorschriften, basierend auf den Konzepten der Fuzzy Set Theorie, kann die methodische Fragmentierung überwunden werden bzw. wird die inhaltserhaltende Weiterverarbeitung von Informationen ggf. erst möglich. Dadurch können Entscheidungsgrundlagen von höherer Qualität entwickelt werden!
Beherrschungsaufwand	<ul style="list-style-type: none"> - Vielzahl eingesetzter Methoden und Instrumente - fehlende Systematik zur notwendigen Umwandlung von Beschreibungsformaten der Informationen zur Weiterverarbeitung <p>Bewertung:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hoher Beherrschungsaufwand → Folge: Ressourcenintensiver Prozess für Unternehmen! 	<p>→ Verbesserungspotential: Die Einbeziehung unscharfer Informationen und die systematische Informationsverarbeitung können zu einer Verringerung der Anzahl notwendiger Methoden und der Komplexität des Prozesses führen. Dadurch kann bei verbesserter Entscheidungsgrundlage die Ressourcenintensität verringert werden!</p>

6 Entwicklung eines Konzeptes für die fuzzy-basierte Modellierung des Technologiefrühaufklärungsprozesses

Die dargestellten konzeptionellen Schwächen der Technologiefrühaufklärung bilden den Ausgangspunkt für den Forschungsansatz dieser Arbeit.³⁷³ Einerseits zielt die Arbeit darauf ab, die bisher in der Technologiefrühaufklärung nur unzureichend berücksichtigte Unschärfe von Informationen systematisch in die Entscheidungsprozesse der Technologiefrühaufklärung einzubeziehen. Weiterhin verfolgt die Arbeit die Überwindung der methodischen Fragmentierung des Technologiefrühaufklärungsprozesses als Ziel. Die Fuzzy Set Theorie stellt für diese Zielsetzungen geeignete Konzepte zur Verfügung und soll im Rahmen dieser Arbeit als adäquater grundlegender theoretischer Ansatz in den Technologiefrühaufklärungsprozess integriert werden.³⁷⁴

6.1 Konzeptionelle Abgrenzung des Betrachtungsbereiches des Technologiefrühaufklärungsprozesses

Der Technologiefrühaufklärungsprozess stellt die inhaltlich abgeschlossene, zeitliche und sachlogische Gliederung von Unternehmensaufgaben dar, die im Rahmen der Technologiefrühaufklärung zur Entscheidungsfindung hinsichtlich technologischer und technologierelevanter unternehmensspezifischer Fragestellungen erforderlich sind.³⁷⁵ Der Technologiefrühaufklärungsprozess kann in folgende Phasen unterteilt werden:³⁷⁶

1. Bestimmung des Informationsbedarfs
2. Auswahl der Informationsquellen, Methoden und Instrumente
3. Erfassung der Daten und Informationen
4. Filtern, Analyse und Interpretation der Daten und Informationen
5. Vorbereitung der Entscheidung
6. Bewertung und Entscheidung.

³⁷³ Vgl. insbesondere Kapitel 5.2.1 und 5.2.2

³⁷⁴ Vgl. Kapitel 5.2.3

³⁷⁵ Vgl. Nordsieck (1934), S. 77 und Becker (2012), S. 6 sowie die Kapitel 3.4 und 3.5

³⁷⁶ Vgl. Reger (2001), S. 79

Der Prozess der Technologiefrühaufklärung ist als ein Prozess des kontinuierlichen Lernens zu sehen, in dem sich Phasen überlappen können oder Phasen wiederholend durchlaufen werden müssen, um beispielsweise neue Erkenntnisse zu berücksichtigen oder die methodische Vorgehensweise anzupassen.³⁷⁷ Entsprechend der Zielstellungen dieser Arbeit liegt der Fokus der Ausführungen auf den Phasen „Erfassung der Daten und Informationen“ sowie „Filtern, Analyse und Interpretation der Daten und Informationen“. Insbesondere in diesen Phasen des Technologiefrühaufklärungsprozesses kann die Berücksichtigung unscharfer Informationen durch den Einsatz von Konzepten der Fuzzy Set Theorie zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen innerhalb der Technologiefrühaufklärung beitragen.³⁷⁸ Zwar ist für einen erfolgreichen Technologiefrühaufklärungsprozess die Phase „Bestimmung des Informationsbedarfs“ und somit die Wahl des Suchfelds von besonderer Bedeutung, da von der Festlegung der Art und der Größe des Beobachtungsraumes einerseits die Zeit und die Kosten der Informationsbeschaffung und andererseits die Relevanz und die Qualität der erfassten Informationen abhängig sind.³⁷⁹ Die Frage der Identifikation eines geeigneten Suchfeldes soll aber im Rahmen dieser Arbeit nicht erörtert werden.³⁸⁰ Trotz ihrer Relevanz für eine erfolgreiche Technologiefrühaufklärung wird auch die Phase „Auswahl der Informationsquellen, Methoden und Instrumente“ hinsichtlich einer spezifischen Fragestellung in dieser Arbeit nicht untersucht. Vielmehr stellt sich für diese Arbeit im Zusammenhang mit dieser Phase die Frage, wie die Qualität der Informationserfassung und der Informationsverarbeitung mit den vorhandenen Methoden und Instrumenten durch die Integration von Konzepten der Fuzzy Set Theorie verbessert werden kann. Die Phasen „Vorbereitung der Entscheidung“ und „Bewertung und Entscheidung“ des Technologiefrühaufklärungsprozesses bilden den Übergang zur Phase „Technologiestrategieentwicklung“ innerhalb

³⁷⁷ Vgl. Reger (2001), S. 88. Die Trennung der einzelnen Prozessphasen ist, wie bei allen Management- beziehungsweise Entscheidungsprozessen, nur als idealtypisch zu betrachten. In der Realität sind Überlappungen und eine rekursive Verknüpfung der Phasen des Technologiefrühaufklärungsprozesses erforderlich, da die komplexen und dynamischen Veränderungen der Unternehmensumwelt einerseits in einem linearen Prozess nicht erfasst und bewältigt werden können und sich Entwicklungen andererseits nur langsam herauskristallisieren und nicht sofort eindeutig interpretiert werden können (vgl. Liebl (1996), S. 11 und Sepp (1996), S. 210).

³⁷⁸ Vgl. nochmals Kapitel 5.2.1 und 5.2.2

³⁷⁹ Vgl. Lang (1998), S. 398 - 399

³⁸⁰ Vgl. hierzu beispielsweise Müller-Stewens (1990), Klavans (1997) oder van Raan (1988)

des Technologiemanagementprozesses.³⁸¹ In der Phase „Vorbereitung der Entscheidung“ werden die Ergebnisse der Technologiefrühaufklärung sichtbar und Anwendungsmöglichkeiten dieser Ergebnisse in Form von strategischen Handlungsalternativen für den Ressourceneinsatz zur Entwicklung und Nutzung von Technologien identifiziert. In der sich anschließenden Phase „Bewertung und Entscheidung“ werden die ermittelten Handlungsalternativen bewertet und Entscheidungen für die Technologieplanung beziehungsweise die Formulierung von Technologiestrategien abgeleitet.³⁸² Auch diese beiden Phasen des Technologiefrühaufklärungsprozesses werden in die weiteren Ausführungen nicht einbezogen. Die Unschärfe von Informationen kann ohnehin nur bis zu einem bestimmten Punkt innerhalb von Entscheidungsprozessen beibehalten werden und muss dann durch konkrete Entscheidungen beziehungsweise konkrete Handlungen operationalisiert werden.³⁸³ Abbildung 14 zeigt die für diese Arbeit zugrunde gelegte phasenbezogene konzeptionelle Abgrenzung des Betrachtungsbereiches der Technologiefrühaufklärung sowie den Zusammenhang zwischen den in dieser Arbeit betrachteten Phasen des Technologiefrühaufklärungsprozesses und den dargestellten Hauptaufgaben der Technologiefrühaufklärung.³⁸⁴

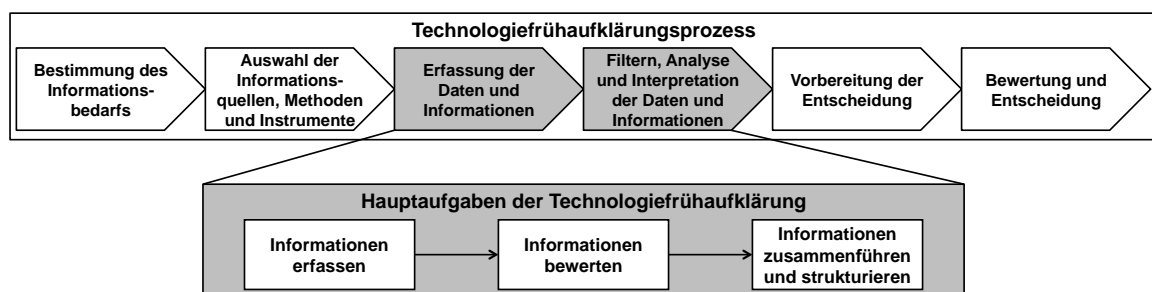


Abbildung 14: Phasenbezogene konzeptionelle Abgrenzung des Betrachtungsbereiches der Technologiefrühaufklärung (Quelle: Eigene Darstellung)

³⁸¹ Vgl. Abbildung 5

³⁸² Vgl. Reger (2001), S. 79, 87 - 88

³⁸³ Vgl. Forte (2002), S. 162

³⁸⁴ Vgl. Kapitel 3.5

6.2 Konzeption eines wissensbasierten Fuzzy-Systems zur Entscheidungsunterstützung innerhalb des Technologiefrühaufklärungsprozesses

Zur Anwendung der Fuzzy Set Theorie für die Entscheidungsunterstützung sind algorithmische oder wissensbasierte Ansätze denkbar.³⁸⁵ Innerhalb dieser Arbeit wird ein Konzept zur Entscheidungsunterstützung im Rahmen der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung von Unternehmen entwickelt. Wie gezeigt wurde, handelt es sich bei den Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung um Fragestellungen eines sozio-technischen Systems, dessen adäquate Modellierung mit Hilfe von mathematischen Algorithmen aufgrund der Dynamik und der Komplexität der Unternehmensumwelt und der in der Regel nur unscharf vorliegenden Informationen über das Verhalten dieses Systems nicht möglich oder mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand verbunden ist.³⁸⁶ Aus diesem Grund wird ein wissensbasierter Ansatz in Form eines Expertensystems³⁸⁷ für das Konzept dieser Arbeit gewählt und ein entsprechendes Fuzzy-Expertensystem zur Entscheidungsunterstützung innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung entwickelt.

Den Ausgangspunkt der Entwicklung des wissensbasierten Fuzzy-Systems für die Technologiefrühaufklärung bildet das Modell eines einfachen technischen Regelkreises. Abbildung 15 stellt die in diesem Zusammenhang relevanten Komponenten und Größen eines technischen Regelkreises dar.

³⁸⁵ Vgl. Kapitel 4.3

³⁸⁶ Vgl. Forte (2002), S. 81 - 82, 84 und die Kapitel 2.5, 5.1 sowie 5.2.1

³⁸⁷ Unter einem Expertensystem beziehungsweise wissensbasierten System soll hier ein System verstanden werden, welches das Wissen und die Schlussfolgerungsfähigkeiten menschlicher Experten besitzt, dass zur Lösung von Problemstellungen eines bestimmten, aber schlecht strukturierten und mit Unbestimmtheit behafteten Anwendungsbereiches notwendig ist (vgl. Zimmermann (1993), S. 48 - 49, 92).

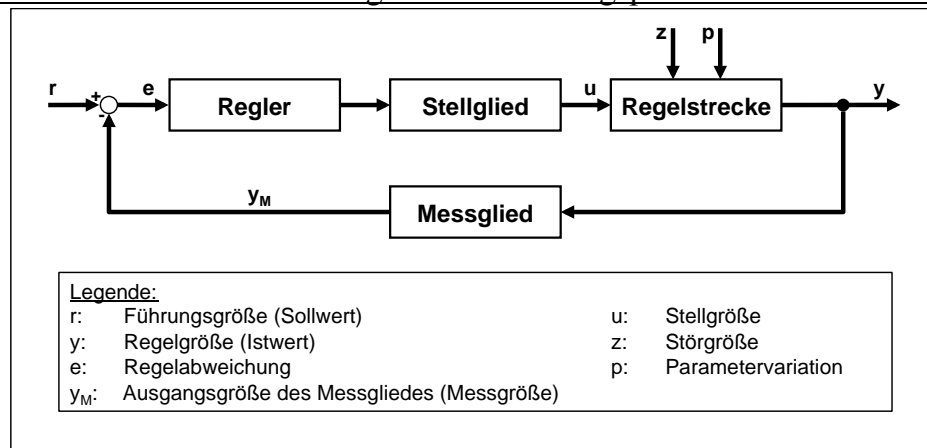


Abbildung 15: Komponenten und Größen eines einfachen technischen Regelkreises
(Quelle: in Anlehnung an Kahlert; Franck (1994), S. 120)

Die Verwendung technischer Regelkreise zielt darauf ab, mit Hilfe eines Reglers die Ausgangsgröße (Regelgröße y) eines technischen Prozesses (Regelstrecke) weitgehend ohne menschliche Eingriffe so zu beeinflussen, dass die Regelgröße y möglichst genau einer vorgegebenen Führungsgröße r , die das gewünschte Verhalten der Regelstrecke widerspiegelt, entspricht. Weicht die mit einem Messglied gemessene Regelgröße y_M von der Führungsgröße r ab (Regelabweichung e), wird durch den Regler in Abhängigkeit von der festgestellten Abweichung eine Stellgröße u erzeugt, die der Regelabweichung e entgegenwirkt, um diese zu minimieren. Hierbei ist der modellierte funktionale Zusammenhang zwischen der Regelabweichung und der Stellgröße entscheidend. In Abhängigkeit von der Gestaltung des Reglers, beispielsweise als analoge elektronische Schaltung, Mikroprozessor oder pneumatischer Regler, und der Art des zu regelnden technischen Systems muss die Ausgangsgröße des Reglers zur direkten Ansteuerung der Regelstrecke gegebenenfalls durch ein Stellglied, beispielsweise ein Stellmotor, Ventil oder Spannungsverstärker, in eine zur Ausgangsgröße des Reglers proportionale Stellgröße u umgewandelt werden. Die Stellgröße u wirkt schließlich gezielt auf die Regelstrecke ein, um das technische System entsprechend des gewünschten Verhaltens zu beeinflussen. Durch häufig unvermeidbare Wechselwirkungen des technischen Systems mit seiner Umgebung beeinflussen zusätzlich zur Stellgröße u auch externe Störgrößen (z) und Parametervariationen (p) das Verhalten der Regelstrecke und darüber die Regelgröße y .³⁸⁸

³⁸⁸ Vgl. Kahlert; Franck (1994), S. 119 - 120 und Kiendl (1997), S. 7 - 8. Neben dieser einfachen Regelkreisstruktur sind auch komplexere Regelkreisstrukturen denkbar, bei-

Das Modell der klassischen Regelungstechnik stößt auf Anwendungsgrenzen, wenn für die Modellierung der Regelstrecke kein mathematisches Modell verfügbar ist. Diese Grenzen können überwunden werden, wenn das vorhandene qualitative Erfahrungswissen von Experten über die Funktionsweise dieser Regelstrecke genutzt wird. Häufig lassen sich komplexe dynamische Systeme, ohne deren innere Wirkungsmechanismen genau zu kennen, aufgrund von Erfahrungen durch linguistische Regeln in ihrem Verhalten beschreiben, vorhersagen oder in der gewünschten Weise beeinflussen. Durch die Untersetzung dieser linguistischen Regeln mit Konzepten der Fuzzy Set Theorie kann der oftmals gegebenen Unschärfe dieses Erfahrungswissens entsprechend Rechnung getragen werden und das unscharfe Erfahrungswissen über die Regelung eines technischen Prozesses beziehungsweise über die Beeinflussung der Regelstrecke adäquat durch die linguistischen Regeln modelliert werden.³⁸⁹ Der Ansatz der Modellierung regelungstechnischer Systeme beziehungsweise technischer Prozesse auf der Basis unscharfen Expertenwissens mit Hilfe der Fuzzy Set Theorie wird im Rahmen dieser Arbeit auf den Technologiefrühaufklärungsprozess übertragen. Innerhalb des für diese Arbeit konzeptionell abgegrenzten Betrachtungsbereiches des Technologiefrühaufklärungsprozesses³⁹⁰ sollen die korrespondierenden Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung mit Hilfe eines Fuzzy-Reglers adäquat modelliert und auf diese Weise die Zielstellungen dieser Arbeit unter Ausnutzung der in diesem Zusammenhang gegebenen Verbesserungspotentiale durch die Anwendung der Fuzzy Set Theorie realisiert werden.³⁹¹

Die Entwicklung eines spezifischen Fuzzy-Reglers beziehungsweise eines wissensbasierten Fuzzy-Systems zur Entscheidungsunterstützung für den Technologiefrühaufklärungsprozess stellt das zentrale Ergebnis dieser Arbeit dar. Zum Verständnis der weiteren Ausführungen wird daher im Folgenden

spielsweise durch ineinander geschachtelte Regelkreise, die jeweils einen Teil der zweckmäßig unterteilten Regelstrecke beinhalten. Nach ihren Eigenschaften können Regler in die Kategorien PID-Regler, Kennlinien- beziehungsweise Kennfeld-Regler und Zustands-Regler unterschieden werden (vgl. beispielsweise Kahlert; Franck (1994), S. 121, 132 - 139 und Altrock (1993), S. 33 - 35).

³⁸⁹ Vgl. Kiendl (1997), S. 63 - 64, 103 - 104

³⁹⁰ Vgl. Kapitel 6.1

³⁹¹ Vgl. Tabelle 10

kurz der grundsätzliche Aufbau und die Funktionsweise eines Fuzzy-Reglers beschrieben sowie die methodische Vorgehensweise der Arbeit zur Entwicklung des Fuzzy-Reglers dargestellt und daran anschließend die Anpassung und Übertragung des regelungstechnischen Ansatzes auf die konkreten Anforderungen des Technologiefrühaufklärungsprozesses vorgenommen.

6.2.1 Grundstruktur und Funktionsweise eines Fuzzy-Reglers

Die wesentlichen Elemente eines Fuzzy-Reglers sind in Abbildung 16 am Beispiel eines unscharfen Regelkreises³⁹² dargestellt.

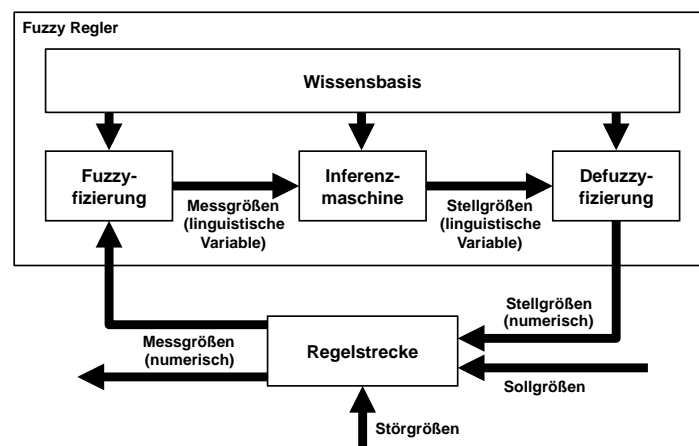


Abbildung 16: Grundstruktur eines unscharfen Regelkreises

(Quelle: in Anlehnung an Altrock (1993), S. 23 und Zimmermann (1995), S. 15)

Ein Fuzzy-Regler besteht aus einer Wissensbasis, einer Inferenzmaschine sowie aus einer Fuzzyfizierungs- und einer Defuzzyfizierungskomponente.³⁹³ Die Wissensbasis enthält das vorhandene Expertenwissen über ein bestimmtes Phänomen, beispielsweise das Wissen zur Regelung eines Prozesses oder eines Systems. Die Wissensdarstellung in der Wissensbasis erfolgt in Form von „WENN-DANN-Regeln“, mit deren Hilfe das unscharfe Wissen von

³⁹² Zur vereinfachten Darstellung der Struktur des unscharfen Regelkreises sind das Stellglied und der Messsensor eines Regelkreises nicht explizit dargestellt (vgl. die detailliertere Darstellung eines Regelkreises in Abbildung 15).

³⁹³ Vgl. Zimmermann (1993), S. 92

Experten über Zusammenhänge und Abhängigkeiten einzelner Größen des Phänomens in der natürlichen Sprache abgebildet werden kann.³⁹⁴

Mit Hilfe der Fuzzyfizierungskomponente werden die numerischen Messgrößen der Regelstrecke in linguistische Variablen überführt.³⁹⁵ Anhand der Messgrößenwerte kann der Zugehörigkeitsgrad einer Messgröße zu den einzelnen linguistischen Werten einer linguistischen Variablen bestimmt werden und dadurch eine Überführung der Messgrößenwerte in linguistische Variable beziehungsweise linguistische Werte erfolgen.³⁹⁶ Abbildung 17 veranschaulicht beispielhaft die Fuzzyfizierung der Messgröße x_e durch die Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Werte NG (negativ groß), NK (negativ klein), V (verschwindend), PK (positiv klein) und PG (positiv groß).

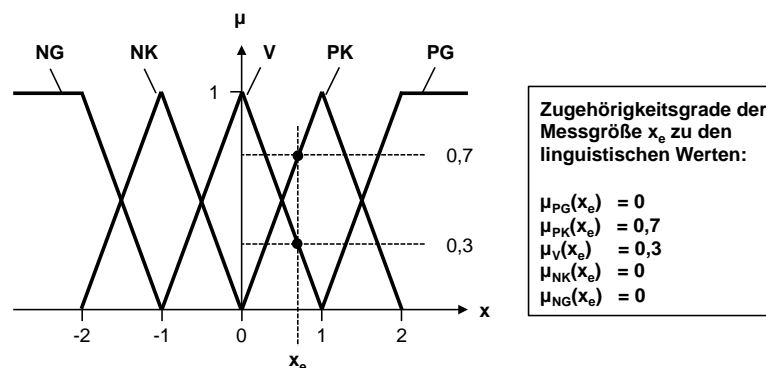


Abbildung 17: Fuzzyfizierung einer numerischen Messgröße
(Quelle: in Anlehnung an Kiendl (1997), S. 116)

Nach der Fuzzyfizierung werden die linguistischen Variablen mittels des Regelwerkes in der Inferenzmaschine ausgewertet. Dabei können die Schritte Aggregation, Implikation und Akkumulation unterschieden werden. Innerhalb des Aggregationsschrittes wird zunächst für jede Regel aus dem Regelwerk überprüft, zu welchem Grad deren Prämissen entsprechend der aktuell überführten Messgrößenwerte erfüllt sind. Jeder Prämisse wird also ein Zugehörigkeitsgrad zu einem oder mehreren linguistischen Werten einer linguistischen

³⁹⁴ Vgl. Forte (2002), S. 82 und Mißler-Behr (2002), S. 66. Der WENN-Teil einer Regel wird üblicherweise als Prämisse, der DANN-Teil als Konklusion bezeichnet (vgl. Jaanineh; Majjohann (1996), S. 27).

³⁹⁵ Vgl. auch die Ausführungen in Kapitel 4.1.2

³⁹⁶ Vgl. Zimmermann (1993), S. 93 und Kiendl (1997), S. 66

Variable zugeordnet. Die Prämissen von Regeln bestehen im Allgemeinen aus der Verknüpfung mehrerer unscharfer Ausdrücke, wie beispielsweise **WENN** „*unscharfer Ausdruck 1*“ **UND/ODER** „*unscharfer Ausdruck 2*“ **DANN...** . Durch die Aggregation der Zugehörigkeitsgrade der einzelnen unscharfen Ausdrücke mit Hilfe von unscharfen Mengenoperatoren³⁹⁷ kann der Erfüllungtheitsgrad beziehungsweise der Zugehörigkeitsgrad der gesamten Prämisse ermittelt werden.³⁹⁸

An die Aggregation schließt sich als nächster Schritt die Implikation an, bei der basierend auf dem zuvor ermittelten Erfüllungtheitsgrad der Prämisse einer Regel der Erfüllungtheitsgrad der Konklusion dieser Regel abgeleitet wird. Dieser Schritt bildet die Schlussfolgerung **WENN** „A“, **DANN** „B“ ab, wobei die Wirkung einer Regel vom Erfüllungtheitsgrad der Prämisse abhängig ist.³⁹⁹ Besitzt die Prämisse einer Regel einen Erfüllungtheitsgrad ungleich Null, das heißt, einer Prämisse wird bei der Fuzzyifizierung beziehungsweise bei der Aggregation ein Zugehörigkeitsgrad ungleich Null zu einem linguistischen Wert zugeordnet, gilt die zugehörige Regel als aktiviert. Der Grad der Aktivierung einer Regel entspricht dem Zugehörigkeitsgrad ihrer Prämisse. Der Grad der Regelaktivierung beeinflusst als Ausgangsgrößenwert der Prämisse, in welchem Maße die Konklusion einer Regel wirksam wird.⁴⁰⁰ Die Zugehörigkeitsfunktion einer Konklusion $\bar{\mu}_K(\bar{x})$ beschreibt für alle potentiellen Ausgangsgrößenwerte \bar{x} einer Prämisse den Erfüllungtheitsgrad der Konklusion der Regel. Bei einer vollständig aktivierten Regel, also bei einem Zugehörigkeitsgrad der Prämisse einer Regel von 1, gibt die Zugehörigkeitsfunktion der Konklusion $\bar{\mu}_K(\bar{x})$ die Handlungsempfehlung der Regel wieder. Bei einer unvollständig aktivierten Regel, das heißt, der Zugehörigkeitsgrad der Prämisse liegt für einen bestimmten Messwert x_e zwischen Null und Eins, wird die Handlungsempfehlung der Regel abgeschwächt. Die Zugehörigkeitsfunktion der abgeschwächten Handlungsempfehlung $\mu_K(x_e, \bar{x})$ ergibt sich dann aus der Fuzzy-UND-Verknüpfung des Erfüllungtheitsgrades der Prämisse einer Regel bei einem bestimmten Messwert x_e und der Zugehörig-

³⁹⁷ Vgl. Kapitel 4.1.3

³⁹⁸ Vgl. Zimmermann (1993), S. 96

³⁹⁹ Vgl. Zimmermann (1993), S. 97

⁴⁰⁰ Vgl. Kiendl (1997), S. 117

keitsfunktion der Konklusion $\bar{\mu}_K(\bar{x})$. Gebräuchliche Mechanismen zur Abschwächung der Handlungsempfehlung beziehungsweise der Zugehörigkeitsfunktion der Konklusion sind die Begrenzung der Zugehörigkeitsfunktion der Konklusion durch den Erfülltheitsgrad der Prämisse oder durch die Multiplikation der Zugehörigkeitsfunktion der Konklusion mit dem Erfülltheitsgrad der Prämisse.⁴⁰¹ Anhand der resultierenden abgeschwächten Zugehörigkeitsfunktion der Konklusion kann dann schließlich für einen gegebenen Ausgangsgrößenwert \bar{x} der Prämisse einer aktivierten Regel ermittelt werden, zu welchem Grad der Handlungsvorschlag der Regel empfohlen wird.⁴⁰² Abbildung 18 veranschaulicht die beschriebenen Mechanismen der Abschwächung einer Handlungsempfehlung durch den Grad der Regelaktivierung.

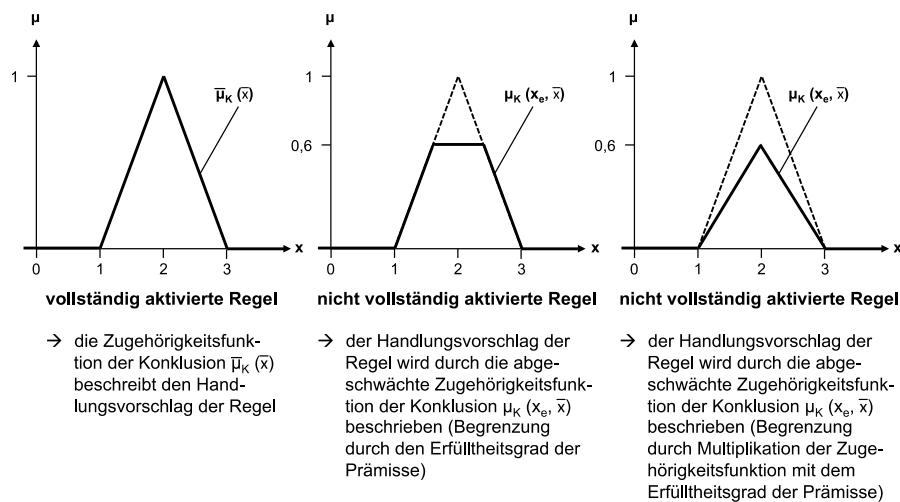


Abbildung 18: Regelaktivierung und Erfülltheitsgrad der Konklusion bei der Implikation
(Quelle: in Anlehnung an Kiendl (1997), S. 118)

Um reale Entscheidungsprozesse adäquater abbilden zu können und zu ermöglichen, dass auch Regeln mit gleichem Bedingungsteil und verschiedenen Konklusionen gleichzeitig aktiv sein können, ist es darüber hinaus möglich, die Regeln in der Wissensbasis mit einem Relevanzfaktor zu gewichten und dadurch unterschiedlich stark in eine Entscheidung einzubeziehen. Hierzu sind

⁴⁰¹ Vgl. Kiendl (1997), S. 119. Diese Abschwächungsmechanismen entsprechen dem Minimum-Operator beziehungsweise dem algebraischen Produkt (vgl. ebenda, S. 119).

⁴⁰² Vgl. Kiendl (1997), S. 119

der Erfülltheitsgrad der Prämisse und der einer Regel beigemessene Relevanzfaktor durch eine UND-Verknüpfung zu aggregieren.⁴⁰³

Nachdem durch den Schritt der Implikation die Handlungsempfehlungen der Regeln des Regelwerkes ermittelt wurden, folgt der abschließende Schritt der Akkumulation der Handlungsempfehlungen aller Regeln. Dieser Schritt ist erforderlich, da mehrere aktivierte Regeln den gleichen linguistischen Wert als Konklusionsergebnis bei gleichzeitig unterschiedlich großen Zugehörigkeitsgraden zu diesem linguistischen Wert haben können. Während die Prämissen der Regeln eines Regelwerkes nicht unbedingt verschieden sein müssen, führen übereinstimmende Konklusionen von Regeln bei isolierter Betrachtung gegebenenfalls zu widersprüchlichen Aussagen und erfordern die Zusammenfassung der Handlungsempfehlungen aller Regeln in einer akkumulierten Zugehörigkeitsfunktion als Ergebnis der Inferenz. Die Akkumulation der Implikationsergebnisse der einzelnen Regeln des Regelwerkes erfolgt aufgrund des alternativen Charakters der Regeln und der damit verbundenen simultanen Wirksamkeit aller Regeln mit Hilfe von Fuzzy-ODER-Operatoren.⁴⁰⁴

Zur Veranschaulichung der Funktionsweise der Inferenzmaschine eines Fuzzy-Reglers wird das obige Beispiel der Fuzzyfizierung der Messgröße x_e fortgeführt und die Schritte der Aggregation, Implikation und Akkumulation dargestellt, wobei folgendes Regelwerk unterstellt wird:⁴⁰⁵

- | | |
|---|---|
| R_1 : WENN $\mu_{PG}(x_e) > 0$ | DANN $\bar{\mu}_K(\bar{x}) = \mu_{K,PG}(x_e, \bar{x})$, |
| R_2 : WENN $\mu_{PK}(x_e) > 0$ | DANN $\bar{\mu}_K(\bar{x}) = \mu_{K,PK}(x_e, \bar{x})$, |
| R_3 : WENN $\mu_V(x_e) > 0$ | DANN $\bar{\mu}_K(\bar{x}) = \mu_{K,V}(x_e, \bar{x})$, |
| R_4 : WENN $\mu_{NK}(x_e) > 0$ | DANN $\bar{\mu}_K(\bar{x}) = \mu_{K,NK}(x_e, \bar{x})$, |
| R_5 : WENN $\mu_{NG}(x_e) > 0$ | DANN $\bar{\mu}_K(\bar{x}) = \mu_{K,NG}(x_e, \bar{x})$. |

Innerhalb des Aggregationsschrittes wird für alle Regeln des Regelwerkes die Erfüllung ihrer Prämissen anhand des Messgrößenwertes x_e ermittelt. Aus der

⁴⁰³ Vgl. Zimmermann (1993), S. 95, 98

⁴⁰⁴ Vgl. Börcsök (2000), S. 101 - 102, Mißler-Behr (2002), S. 68 sowie Kapitel 4.1.3

⁴⁰⁵ Vgl. hierzu und im Folgenden Kiendl (1997), S. 120 - 122

Fuzzyfizierung des scharfen Messgrößenwertes $x_e = 0,7$ ergibt sich anhand der Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Werte PG, PK, V, NK und NG, dass x_e im Grade 0,3 dem linguistischen Wert V und im Grade 0,7 dem linguistischen Wert PK zugehörig ist. Da die Regeln aus Elementaraussagen bestehen, resultieren aus der Fuzzyfizierung unmittelbar die Erfüllungtheitsgrade der Prämissen der Regeln und eine Aggregation der Prämissen durch die Verknüpfung mehrerer Elementaraussagen ist nicht erforderlich. Folglich werden die Regeln R_2 und R_3 des Regelwerkes durch den Messgrößenwert x_e aktiviert, alle anderen Regeln nicht. Für die linguistischen Werte der Konklusionen der Regeln werden die gleichen Zugehörigkeitsfunktionen wie für die Prämissen der einzelnen Regeln angenommen. Somit ergeben sich die abgeschwächten Zugehörigkeitsfunktionen der Konklusionen der Regeln R_2 und R_3 aus:

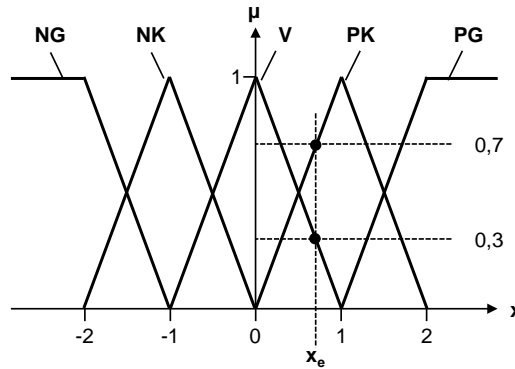
$$\begin{aligned}\mu_{K,2}(x_e, \bar{x}) &= 0,7 \wedge \bar{\mu}_2(\bar{x}) \text{ und} \\ \mu_{K,3}(x_e, \bar{x}) &= 0,3 \wedge \bar{\mu}_3(\bar{x}).\end{aligned}$$

Die Zugehörigkeitsfunktion des resultierenden Handlungsvorschlags $\mu_H(\bar{x})$ aller Regeln der Regelbasis ergibt sich durch Akkumulation der Zugehörigkeitsfunktionen der Konklusionen durch die Fuzzy-ODER-Verknüpfung:

$$\mu_H(\bar{x}) = \mu_{K,1}(x_e, \bar{x}) \vee \mu_{K,2}(x_e, \bar{x}) \vee \mu_{K,3}(x_e, \bar{x}) \vee \mu_{K,4}(x_e, \bar{x}) \vee \mu_{K,5}(x_e, \bar{x}).$$

Mit $\mu_{K,1}(\bar{x}) = \mu_{K,4}(\bar{x}) = \mu_{K,5}(\bar{x}) = 0$ ergibt sich für die Zugehörigkeitsfunktion $\mu_H(\bar{x})$ durch Überlagerung der Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_{K,2}(x_e, \bar{x})$ und $\mu_{K,3}(x_e, \bar{x})$ mit dem Maximum-Operator schließlich die grau unterlegte Fläche in Abbildung 19. Das unscharfe Inferenzergebnis geht anschließend als Stellgröße in die Defuzzyfizierungskomponente des Reglers ein.⁴⁰⁶

⁴⁰⁶ Vgl. nochmals Abbildung 16

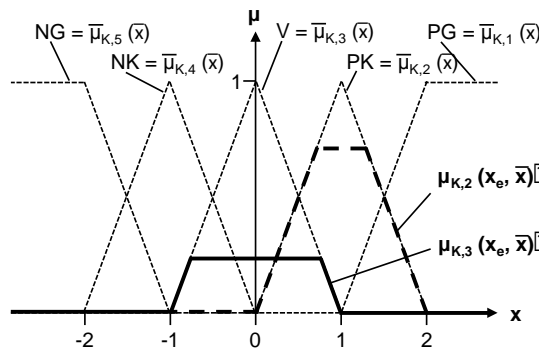


Fuzzifizierung & Aggregation

$$\begin{aligned}\mu_{PG}(x_e) &= 0 \\ \mu_{PK}(x_e) &= 0,7 \\ \mu_V(x_e) &= 0,3 \\ \mu_{NK}(x_e) &= 0 \\ \mu_{NG}(x_e) &= 0\end{aligned}$$

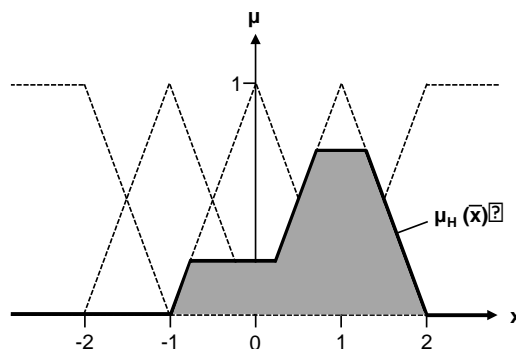
→ Da die Prämissen der Regeln aus Elementaraussagen bestehen, gehen aus der Fuzzifizierung unmittelbar die Erfülltheitsgrade der Prämissen hervor!

Aktivierung & Implikation



$$\begin{aligned}\mu_{K,2}(x_e, \bar{x}) &= 0,7 \cup \mu_{K,2}(\bar{x}) \\ \mu_{K,3}(x_e, \bar{x}) &= 0,3 \cup \mu_{K,3}(\bar{x})\end{aligned}$$

→ Die Zugehörigkeitsfunktionen der Konklusionen $\bar{\mu}_K(\bar{x})$ entsprechen den zur Fuzzifizierung verwendeten linguistischen Werten. Die Regeln R_2 und R_3 werden im Grad 0,7 bzw. 0,3 aktiviert. Die Zugehörigkeitsfunktionen der Konklusionen dieser Regeln werden durch eine Fuzzy-UND-Verknüpfung (hier durch den Minimum-Operator) mit den Erfülltheitsgraden der Prämissen entsprechend abgeschwächt. Die resultierenden Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_{K,2}(x_e, \bar{x})$ und $\mu_{K,3}(x_e, \bar{x})$ beschreiben, in welchem Grade die potentiellen Ausgangsgrößenwerte x die Handlungsvorschläge der Regeln erfüllen!



Akkumulation

$$\mu_H(\bar{x}) = \mu_{K,2}(x_e, \bar{x}) \cup \mu_{K,3}(x_e, \bar{x})$$

→ Durch Überlagerung (Akkumulation) der Zugehörigkeitsfunktionen $\mu_{K,2}(x_e, \bar{x})$ und $\mu_{K,3}(x_e, \bar{x})$ mit Hilfe einer Fuzzy-ODER-Verknüpfung (hier durch den Maximum-Operator) resultiert als Handlungsvorschlag aller Regeln die Zugehörigkeitsfunktion $\mu_H(\bar{x})$ (grau unterlegte Fläche).

Abbildung 19: Beispiel der Inferenz eines Regelwerkes
(Quelle: in Anlehnung an Kiendl (1997), S. 116 - 122)

Die Defuzzifizierungskomponente des Fuzzy-Reglers überführt das unscharfe Inferenzergebnis in eine scharfe Stellgröße. Die Schwierigkeit besteht hierbei darin, einen scharfen Wert zu ermitteln, welcher die enthaltenen Informationen der unscharfen Ausgangsmenge des Inferenzvorganges möglichst gut repräsentiert.⁴⁰⁷ Aus dem Inferenzergebnis resultiert in der Regel keine eindeutige Handlungsempfehlung. Die Zugehörigkeitsfunktion $\mu_H(\bar{x})$ als resultierender Handlungsvorschlag der akkumulierten Konklusionen aller aktivierten Regeln

⁴⁰⁷ Vgl. Zimmermann (1993), S. 99 und Altröck (1993), S. 164

beschreibt für jeden potentiellen Ausgangsgrößenwert \bar{x} , wie attraktiv dieser als Handlungsvorschlag ist. Sie bildet ein Empfehlungsgebirge oder ein diskretes Spektrum von Empfehlungen ab, aus dem ein sinnvoller und eindeutiger Ausgangsgrößenwert abgeleitet werden muss.⁴⁰⁸ Wie bei der Fuzzyfizierung und Inferenz stehen auch für die Defuzzyfizierung unterschiedliche Methoden zur Verfügung. In Literatur und Praxis dominieren die Maximum- und die Schwerpunkt-Methode mit ihren jeweiligen Ableitungen.⁴⁰⁹ Bei der Methode des einfachen Maximums wird nur diejenige Regel mit dem höchsten Erfüllungs- beziehungsweise Aktivierungsgrad bei der Ermittlung des scharfen Ausgangswertes berücksichtigt. Das anhand dieser Regel bestimmte Maximum der unscharfen Ausgangsmenge stellt den scharfen Ausgangswert dar.⁴¹⁰ Besitzt die unscharfe Ausgangsmenge mehr als ein Maximum, beispielsweise bei einem trapezförmigen Funktionsverlauf oder bei mehreren Regeln mit maximalen Aktivierungsgrad, ist die Bestimmung eines eindeutigen Maximums nicht möglich. In diesem Fall kann die scharfe Ausgangsgröße mit Hilfe der Maximum-Mittelwert-Methode durch Bildung des arithmetischen Mittelwertes der Maxima der Regeln mit maximalem Aktivierungsgrad berechnet werden.⁴¹¹ Bei der Schwerpunkt-Methode wird durch die geometrische Interpretation der unscharfen Ausgangsmenge die scharfe Ausgangsgröße aus dem Abszissenwert des Schwerpunktes der Fläche, die von der Zugehörigkeitsfunktion der unscharfen Ausgangsmenge und der Abszisse gebildet wird, ermittelt.⁴¹² Die modifizierte Schwerpunkt-Methode, die mit weniger Rechenaufwand für viele Anwendungsfälle meist gute Näherungslösungen bietet, ermittelt für die Flächenschwerpunkte der unscharfen Ausgangsmengen aller Regeln einen mit dem Aktivierungsgrad der Regeln gewichteten Mittelwert.⁴¹³ Bei der vereinfachten Schwerpunktmethod, der Maximum-Schwerpunktmethod, werden statt der Flächenschwerpunkte der unscharfen Ausgangsmengen aller Regeln die typischsten scharfen Ausgangswerte der

⁴⁰⁸ Vgl. Kiendl (1997), S. 123

⁴⁰⁹ Vgl. Biewer (1997), S. 388

⁴¹⁰ Vgl. Kahlert; Franck (1994), S. 89, 93 und Börcsök (2000), S. 112

⁴¹¹ Vgl. Kahlert; Franck (1994), S. 93, 95 und Börcsök (2000), S. 113

⁴¹² Vgl. Kiendl (1997), S. 125. Die scharfe Ausgangsgröße errechnet sich mittels des Quotienten aus dem Moment der Fläche und der Fläche selbst (vgl. Börcsök (2000), S. 113).

⁴¹³ Vgl. Kahlert; Franck (1994), S. 99 und Biewer (1997), S. 389

unscharfen Ausgangsmengen zugrunde gelegt, wodurch eine weitere Vereinfachung der Schwerpunkt-Methode erreicht werden kann.⁴¹⁴ Abbildung 20 veranschaulicht die Vorgehensweise der Bildung eines scharfen Ausgangswertes für die Schwerpunkt-Methode, die Maximum-Methode und die Maximum-Schwerpunkt-Methode unter Fortführung des Beispiels für die Inferenz eines Regelwerkes sowie für die Maximum-Mittelwert-Methode unter Verwendung einer geeigneten unscharfen Ausgangsmenge.

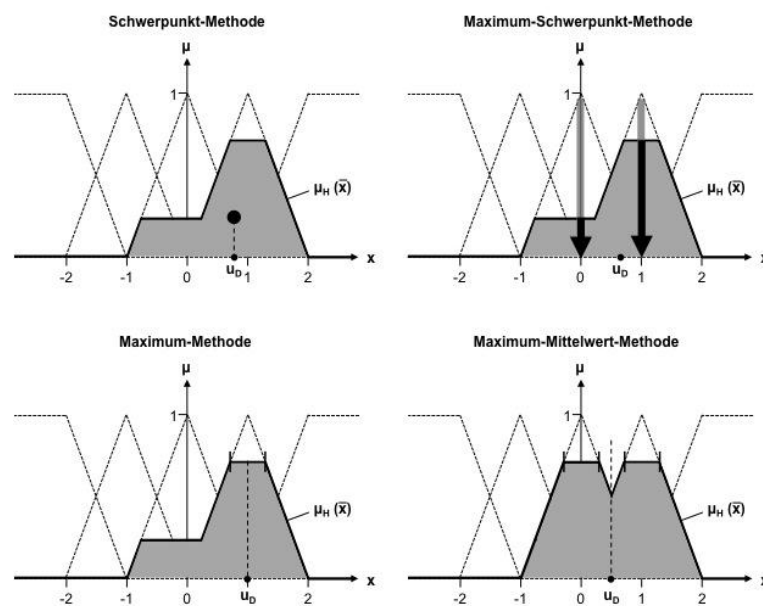


Abbildung 20: Vorgehensweisen der Defuzzifizierungsmethoden (Quelle: in Anlehnung an Kiendl (1997), S. 124, 126, Altrock (1993), S. 30 und Biewer (1997), S. 391)

6.2.2 Entwurfsmethodik des Fuzzy-Reglers

Zur Entwicklung des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess folgt diese Arbeit in ihrem weiteren Vorgehen der Systematik des nachstehend in Abbildung 21 dargestellten allgemeinen Ablaufschemas zum Entwurf eines technischen Fuzzy-Reglers.⁴¹⁵

⁴¹⁴ Vgl. Altrock (1993), S. 29 - 31 und Biewer (1997), S. 390

⁴¹⁵ Vgl. Kiendl (1997), S. 137, Bothe (1995), S. 142 - 143, Altrock (1993), S. 151 und Kahler; Frank (1994), S. 168 - 169

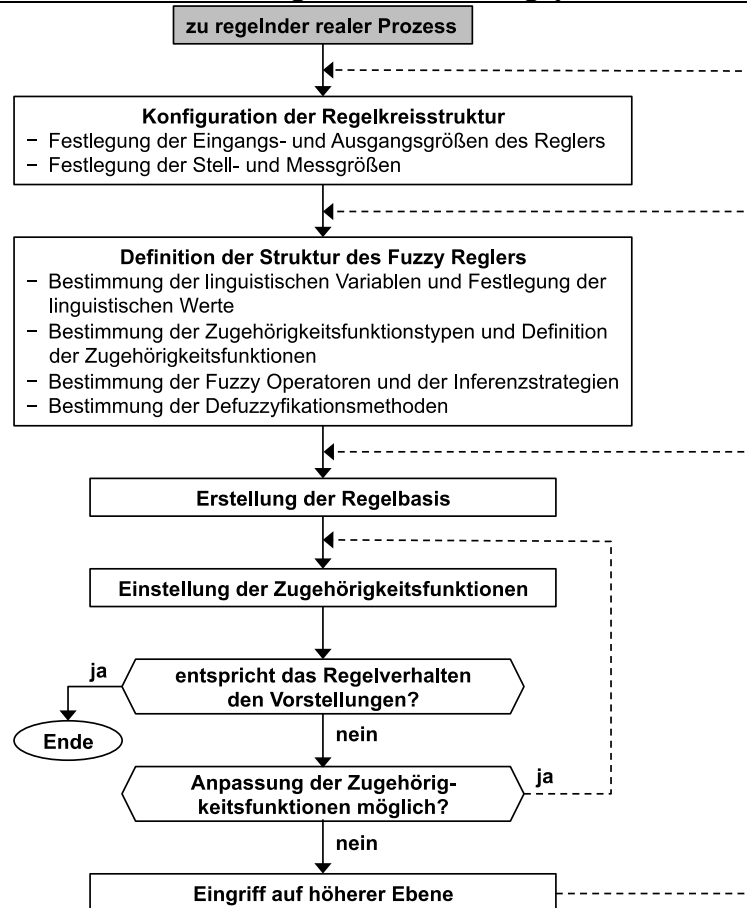


Abbildung 21: Entwurfsmethodik des Fuzzy-Reglers
(Quelle: in Anlehnung an Kiendl (1997), S. 137)

In den folgenden Ausführungen wird diese Entwurfsmethodik auf die Forschungsfrage dieser Arbeit übertragen und der weiteren Vorgehensweise zur systematischen Entwicklung des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess zugrunde gelegt.

6.3 Entwicklung des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess

6.3.1 Konfiguration der Regelkreisstruktur

Die Aufgabe eines Reglers in einem technischen Regelkreis beziehungsweise innerhalb eines technischen Prozesses ist es, das Verhalten der Regelstrecke dieses Regelkreises beziehungsweise die Ergebnisse des technischen Prozesses in der gewünschten Weise möglichst ohne menschliche Eingriffe zu

beeinflussen.⁴¹⁶ Der Technologiefrühaufklärungsprozess ist ein Managementprozess⁴¹⁷, welcher der Entscheidungsfindung für die technologiestrategische Ausrichtung eines Unternehmens dient. Ausgehend von der Zielstellung dieser Arbeit, die Entscheidungsgrundlagen innerhalb des Technologiefrühaufklärungsprozesses zu verbessern, werden die Phasen „Vorbereitung der Entscheidung“ und „Bewertung und Entscheidung“ des Technologiefrühaufklärungsprozesses als Regelstrecke des unscharfen Regelkreises definiert. Die für die Entwicklung des Konzeptes dieser Arbeit im Fokus stehenden Phasen „Erfassung der Daten und Informationen“ und „Filtern, Analyse und Interpretation der Daten und Informationen“ bilden den Ausgangspunkt für die Gestaltung des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess, da insbesondere in diesen Phasen das Potential der Fuzzy Set Theorie genutzt und ein entsprechender Einfluss auf die Regelstrecke beziehungsweise auf die Ergebnisse des Technologiefrühaufklärungsprozesses genommen werden kann, wie in den vorangegangenen Ausführungen gezeigt wurde.⁴¹⁸ Die in diesen Phasen des Technologiefrühaufklärungsprozesses zu erfüllenden Aufgaben werden durch die anwendungsspezifische Gestaltung des Fuzzy-Reglers und die Untersetzung der jeweiligen Aufgaben mit adäquaten Konzepten der Fuzzy Set Theorie berücksichtigt. Abbildung 22 veranschaulicht die dieser Arbeit zugrunde liegende Zusammenführung von Regelungstheorie, Fuzzy Set Theorie und Technologiefrühaufklärungsprozess.

⁴¹⁶ Vgl. Kapitel 6.2

⁴¹⁷ Vgl. Liebl (1996), S. 11. Je nach Art des Managementprozesses ist das allgemeine Modell des Managementprozesses (vgl. Wöhe; Döring (2013), S. 48) hinsichtlich der Aufgaben Planung, Entscheidung, Ausführung und Kontrolle anwendungsspezifisch zu konkretisieren.

⁴¹⁸ Vgl. Kapitel 6.1

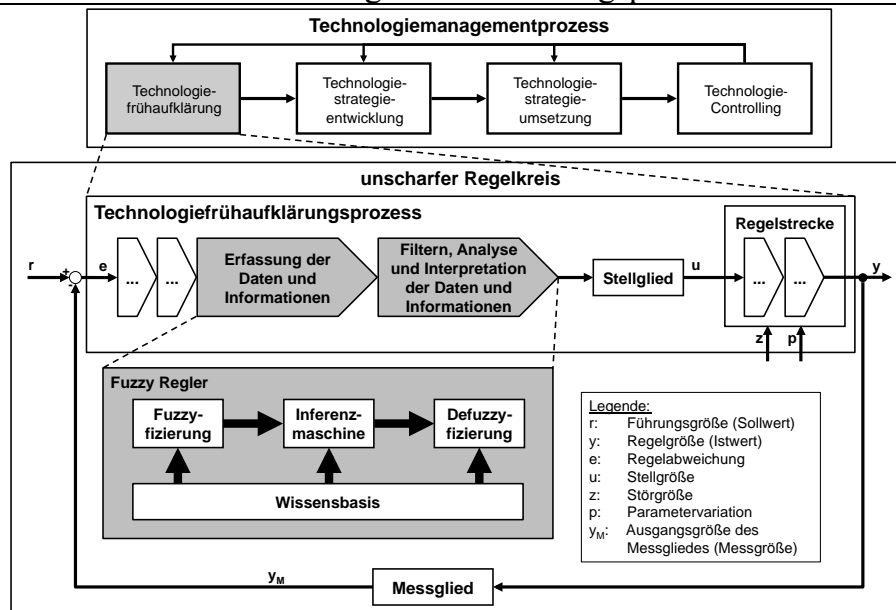


Abbildung 22: Unscharfer Regelkreis des Technologiefrühaufklärungsprozesses
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Struktur des unscharfen Regelkreises des Technologiefrühaufklärungsprozesses ist nur bedingt mit der Charakteristik eines technischen Regelkreises beziehungsweise eines technischen Prozesses vergleichbar. Die Unterschiede liegen insbesondere in der Art beziehungsweise in der Ausgestaltung der einzelnen Größen und Komponenten der Regelkreise. Diese Unterschiede müssen bei der Übertragung des regelungstheoretischen Ansatzes auf die Forschungsfrage dieser Arbeit berücksichtigt werden. Zur Fortführung der Konfiguration der Regelkreisstruktur werden im Folgenden beide Regelkreise hinsichtlich der konkreten Unterschiede der einzelnen Größen und Komponenten analysiert und entsprechende Schlussfolgerungen für die Festlegung der Ein- und Ausgangsgrößen des Reglers sowie der Stell- und Messgrößen des Regelkreises gezogen.

Für beide Regelkreise kann grundsätzlich unterstellt werden, dass deren Zielstellung die Minimierung der Abweichung der Regelgröße y von einer gegebenen Führungsgröße r ist. Die Führungsgrößen eines technischen Regelkreises sind im Allgemeinen konkret definierte, physikalische, quantifizierbare Größen. Demgegenüber stellen sich die Führungsgrößen des Technologiefrühaufklärungsprozesses in der Regel als verallgemeinernde, unscharfe, qualitative Formulierungen von Zielen und Strategien für das Technologiemanagement beziehungsweise die Technologiefrühaufklärung dar, die aus den strategi-

schen Unternehmenszielen abgeleitet wurden.⁴¹⁹ Der weit in die Zukunft gerichtete Planungszeitraum der Technologiefrühaufklärung und die damit verbundene Unbestimmtheit des Wissens über die zukünftigen Entwicklungen haben zur Folge, dass konkrete und quantifizierbare Größen als Führungsgrößen im Sinne eines technischen Regelkreise meist nicht definiert werden können.⁴²⁰ Neben der Unbestimmtheit der zukünftigen Entwicklungen resultiert zudem aus der Komplexität und Dynamik des Unternehmensumfeldes die Notwendigkeit, die Führungsgrößen des Technologiefrühaufklärungsprozesses mehr oder weniger allgemein zu formulieren, um damit der Vielfalt aus technologischen, rechtlichen, politischen, gesellschaftlichen oder ökonomischen Einflussfaktoren auf die technologische Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens gerecht zu werden und eine möglichst umfassende Identifikation zukünftig verfügbarer Handlungsoptionen beziehungsweise existenzbedrohender Entwicklungen zu ermöglichen. In gewisser Weise können die im Rahmen des Monitoring für die gezielte Beobachtung des Unternehmensumfeldes definierten Frühwarnindikatoren als partieller Rahmen für die Durchführung der Technologiefrühaufklärung im Sinne von Führungsgrößen interpretiert werden.⁴²¹ Allerdings entstehen wesentliche Gefährdungen und Chancen für die technologische Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens insbesondere auch durch diskontinuierliche Entwicklungen der Unternehmensumwelt, auf deren mögliches Eintreten schwache Signale hinweisen.⁴²² Vorgegebene Indikatoren begrenzen den Suchraum und können relevante Veränderungen des Unternehmensumfeldes außerhalb dieser definierten Strukturen nicht erfassen. Somit bedarf es einer Führungsgröße für den Technologiefrühaufklärungsprozess, welche auch die ungerichtete Suche nach schwachen Signalen im Rahmen des Scanning einschließt. Als Führungsgröße für den Regelkreis des Technologiefrühaufklärungsprozesses soll daher die allgemeingültige For-

⁴¹⁹ Entsprechend der zugrundeliegenden Wettbewerbsstrategie eines Unternehmens, beispielsweise lassen sich die Grundstrategien der Kostenführerschaft, Differenzierung und Konzentration unterscheiden, müssen für das Technologiemanagement Strategien abgeleitet werden, die zur Erreichung der strategischen Unternehmensziele beitragen. Im Wesentlichen können hierbei Pionierstrategien, Imitationsstrategien, Nischenstrategien und Kooperationsstrategien als Arten von Technologiestrategien unterschieden werden (vgl. Bullinger (1994), S. 133, 136 und Tschirky (1998a), S. 294).

⁴²⁰ Vgl. Wöhe; Döring (2013), S. 76

⁴²¹ Vgl. die Ausführungen zum Monitoring in Kapitel 3.5

⁴²² Vgl. die Ausführungen zu schwachen Signalen in Kapitel 3.5

derung, dass die aus der Regelstrecke des Technologiefrühaufklärungsprozesses hervorgehenden Ergebnisse der Technologiefrühaufklärung einen bedeutenden und sichtbaren Beitrag für die technologiebezogenen Entscheidungen eines Unternehmens über die Allokation von Ressourcen zur Entwicklung und Nutzung von Technologien leisten müssen, zugrunde gelegt werden. Je wertvoller die Anwendungsmöglichkeiten der Ergebnisse der Technologiefrühaufklärung bezüglich des Wahrnehmens von Chancen beziehungsweise der Vermeidung von Risiken aus den erkannten technologierelevanten Entwicklungen für die Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens sind, desto größer ist der Nutzen der Technologiefrühaufklärung für das Unternehmen.

Wie bei der Führungsgröße r gibt es auch bei der Regelgröße y Unterschiede zwischen beiden Regelkreisen. Die Regelgrößen eines technischen Systems sind für gewöhnlich eindeutig festgelegte, physikalische, unmittelbar messbare Größen, mit denen das Verhalten beziehungsweise der Zustand eines Systems konkret beschrieben und die Abweichungen bezüglich der gegebenen Führungsgrößen permanent und unverzüglich bestimmt werden können. Demgegenüber sind die Regelgrößen des Technologiefrühaufklärungsprozesses technologiebezogene Entscheidungen, welche überwiegend auf der Antizipation in der Zukunft liegender Ereignisse und Zustände durch die Interpretation von wahrgenommenen schwachen Signalen und beobachteten Indikatoren in Form von in der Regel qualitativen, mehrdeutigen und fragmentarischen Informationen ohne eindeutigen Wirkungszusammenhang basieren.⁴²³ Hierzu zählen beispielsweise Entscheidungen über die Durchführung von Forschungs- und Entwicklungsprojekten beziehungsweise die Gestaltung des Forschungs- und Entwicklungsprojektportfolios, die Realisierung strategischer Innovationsvorhaben, Schwerpunktsetzungen in der Technologie- beziehungsweise Forschungs- und Entwicklungsstrategie, die Eigenentwicklung oder externe Beschaffung von Technologien, die interne oder externe Verwertung von Technologien oder Entscheidungen über den Aufbau von Kooperationen, etwa mit Zulieferern, Kunden, Universitäten oder Forschungs- und Entwicklungsinstituten.⁴²⁴

⁴²³ Vgl. Zeller (2003), S. 78 - 79 und die dort angegebene Literatur

⁴²⁴ Vgl. Reger (2001), S. 87 - 88. Die Phase „Bewerten und Entscheiden“ des Technologiefrühaufklärungsprozesses reicht bereits weit in die strategische Planung und somit in die

Die unmittelbare Bewertung der Wirksamkeit dieser Entscheidungen anhand der Erfassung der Abweichung e der Regelgröße y von der Führungsgröße r gestaltet sich im Unterschied zu technischen Prozessen, bei denen die Regelgröße für gewöhnlich mit Hilfe geeigneter Sensoren unmittelbar gemessen werden kann, beim Technologiefrühaufklärungsprozess deutlich schwieriger. Zunächst ist die Führungsgröße qualitativ und unscharf formuliert und bietet in diesem Zusammenhang keinen konkreten Ansatzpunkt für die Messung einer Abweichung beziehungsweise für die Bewertung der Wirksamkeit einer Entscheidung. Darüber hinaus repräsentiert die Führungsgröße die Zielstellung des Technologiefrühaufklärungsprozesses, die Regelgrößen repräsentieren Entscheidungen zur Realisierung dieser Zielstellung. Aus der erforderlichen Dauer zur Umsetzung dieser Entscheidungen und der Dauer des Eintretens der damit verbundenen beziehungsweise erhofften Wirkungen auf der einen Seite sowie der Dauer bis zum Eintreten oder Ausbleiben von vermuteten zukünftigen Ereignissen oder Zuständen auf der anderen Seite resultiert eine zeitliche Verzögerung der Bewertbarkeit der getroffenen Entscheidungen. Die Erzeugung einer unmittelbaren Rückkoppelungsinformation für den Regler zur erneuten Beeinflussung des Verhaltens der Regelstrecke anhand der festgestellten Abweichung e der Regelgröße y von der Führungsgröße r zum Zeitpunkt der Entscheidungsfindung ist demzufolge im Regelkreis des Technologiefrühaufklärungsprozesses nicht möglich.⁴²⁵

Eine abschließende und verlässliche Bewertung der Ergebnisse der Regelstrecke durch die Ermittlung der Abweichung e der Regelgröße y von der Führungsgröße r lässt sich erst im Zeitverlauf durch die Analyse der Übereinstimmung der antizipierten beziehungsweise vermuteten zukünftigen Entwicklungen mit den tatsächlich eingetretenen Entwicklungen bei gleichzeitiger Bestimmung und Bewertung des Zielbeitrages der in diesem Zusammenhang

Phase der Technologiestrategieentwicklung des Technologiemanagementprozesses hinein (vgl. ebenda, S. 88).

⁴²⁵ Genau genommen, muss aus diesem Grund bei der Regelung von Managementprozessen eher von einer Regelstrecke statt von einem Regelkreis gesprochen werden (vgl. Mißler-Behr (2001), S. 69 - 70). Im Unterschied zu Steuerungsentscheidungen in technischen Prozessen, bei denen Prozesse in schneller Folge wiederholt und nur ungefähr richtige Entscheidungen beziehungsweise Aktionen unmittelbar durch Folgeentscheidungen korrigiert werden, haben die Entscheidungen bei nicht-technischen Bewertungs- und Entscheidungsaufgaben einmaligen Charakter und sollten möglichst richtig sein (vgl. Rommelfanger (1994), S. 165 - 166).

getroffenen Entscheidungen vornehmen. In der eindeutigen und konkreten Bewertung des Zielbeitrages einer Entscheidung liegt eine weitere Schwierigkeit. Als Messglied zur Ermittlung der Messgröße y_M beziehungsweise der Abweichung e kommt beispielsweise das Technologiecontrolling in Frage. Das Technologiecontrolling dient in der Regel der objektiven Überprüfung der Effektivität und Effizienz der durchgeführten Aktivitäten und stellt gegebenenfalls neue Informationen oder geeignetere Methoden und Instrumente zur Verfügung oder initiiert neue organisatorische Maßnahmen zur zielorientierten Steuerung des Technologiefrühaufklärungsprozesses.⁴²⁶ Ein gewissermaßen implizites Messglied stellt die Technologiefrühaufklärung selbst dar. Mit dem Beginn neuer Technologiefrühaufklärungsaktivitäten beziehungsweise durch die Iteration einzelner Phasen erfolgt die Bewertung gegebenenfalls durch die Anpassung zuvor getroffener Entscheidungen aufgrund der zwischenzeitlichen Konkretisierung von Informationen⁴²⁷ oder der Verfügbarkeit neuer technologierelevanter unternehmensexterner oder unternehmensinterner Informationen, die aus bisher unbekannten Störgrößen oder Parametervariationen resultieren und auf die Regelgröße einwirken. In beiden Fällen wird in Abhängigkeit der festgestellten Abweichung eine neue Stellgröße u in Form aufbereiteter Informationen und Handlungsempfehlungen durch den Regler erzeugt, welche in der Regelstrecke zu technologiestrategischen Entscheidungen weiterverarbeitet werden und hierdurch die Regelabweichung e minimieren sollen.⁴²⁸

⁴²⁶ Vgl. Kapitel 3.4. Eine objektive Bewertung der Entscheidungen durch eine unabhängige Instanz gestaltet sich hierbei schwierig, da die Entscheidungen auf schlecht strukturierten, nicht quantifizierbaren, stark interpretationsfähigen beziehungsweise interpretationsbedürftigen, teilweise widersprüchlichen und aus unterschiedlichen Zusammenhängen entspringenden Informationen beruhen und demzufolge in hohem Maße subjektiv sind (vgl. Krystek; Müller-Stewens (2006), S. 176).

⁴²⁷ Ansoff unterscheidet in Abhängigkeit vom Konkretisierungsgrad der wahrgenommenen schwachen Signale und der damit verbundenen Unklarheit über die zu erwartenden Diskontinuitäten verschiedene „Stadien der Ignoranz“ von Informationen und schlägt entsprechend der sich im Zeitablauf konkretisierenden Informationen ein abgestuftes Reaktionsverhalten vor (vgl. Ansoff (1976), S. 133). Daraus resultiert ein Spektrum von unspezifischen Reaktionen in Stadien hoher Ignoranz bis hin zur Initiierung gezielter Maßnahmen in Stadien niedriger Ignoranz (vgl. Liebl (1996), S. 4).

⁴²⁸ Im Rahmen dieses modelltheoretischen Ansatzes bezieht sich die Bewertung der Ergebnisse der Regelstrecke entsprechend der Zielstellung dieser Arbeit ausschließlich auf die Wirksamkeit der getroffenen Entscheidungen zur Realisierung der technologischen Unternehmensziele. Die Bewertung des für die Generierung der Ergebnisse erforderlichen Ressourcenaufwandes oder der organisatorischen Gestaltung der Technologiefrühaufklärung werden hierbei nicht berücksichtigt.

Im Gegensatz zu vielen technischen Systemen muss die Ausgangsgröße des Reglers im Technologiefrühaufklärungsprozess zur direkten Ansteuerung der Regelstrecke nicht durch ein spezielles Stellglied in eine zur Ausgangsgröße des Reglers proportionale Stellgröße u umgewandelt werden⁴²⁹, da die Ausgangsgrößen aufbereitete technologische und technologierelevante Informationen oder Handlungsempfehlungen sind, die innerhalb der Regelstrecke unmittelbar zu technologiestrategischen Entscheidungen weiterverarbeitet werden können. Zudem sind die Entscheidungsträger der Technologiefrühaufklärung, beispielsweise die Geschäftsleitung oder der Entwicklungsleiter, für gewöhnlich mit den Aufgabenträgern der Technologiefrühaufklärung identisch.⁴³⁰ In diesem Zusammenhang ist die funktionale Trennung innerhalb der Regelkreisstruktur technischer Systeme, bei der die Intelligenz zur Beeinflussung der Regelstrecke im Regler enthalten ist und das Stellglied die Kraft zur Umsetzung der vom Regler vorgegebenen Reaktion liefert, für den definierten Regelkreis der Technologiefrühaufklärung nicht erforderlich.⁴³¹

Die Unterschiede zwischen beiden Regelkreisen hinsichtlich der Komponente des Reglers beziehungsweise des funktionalen Zusammenhanges, der durch den Regler zwischen der Abweichung e und der Stellgröße u hergestellt wird, liegen insbesondere in den Modellierungsmöglichkeiten dieses funktionalen Zusammenhanges. Während für technische Regelkreise häufig adäquate quantitative formale Modelle des technischen Prozesses zur Verfügung stehen, lässt sich der Technologiefrühaufklärungsprozess wegen der Dynamik und der Komplexität der Unternehmensumwelt nicht in einem angemessenen quantitativen formalen Modell abbilden. Für bestimmte Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung existieren zwar auch quantitative Methoden und Instrumente⁴³², überwiegend erfordert die gegebene Unbestimmtheit innerhalb der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung aber eine qualitative und insbesondere unscharfe Modellierung der Wirkungsbeziehungen.⁴³³ In diesem Zu-

⁴²⁹ Vgl. Kapitel 6.2

⁴³⁰ Vgl. Krystek; Müller-Stewens (2006), S. 176 und Reger (2001), S. 88

⁴³¹ Vgl. Kiendl (1997), S. 8. Neben der hier zugrunde gelegten Struktur eines technischen Regelkreises mit funktionaler Trennung von Regler und Stellglied gibt es auch technische Regler, die beide Funktionen vereinen, beispielsweise bei einem Bimetall-Temperatur-Regler (vgl. ebenda, S. 8 - 9).

⁴³² Vgl. Kapitel 3.5

⁴³³ Vgl. Kapitel 5.2

sammenhang leistet der in dieser Arbeit entwickelte Fuzzy-Regler einen wesentlichen Beitrag zur Schließung der vorhandenen Forschungslücke hinsichtlich der Existenz eines systematischen Ansatzes zur adäquaten Modellierung des Technologiefrühaufklärungsprozesses.

Tabelle 11 stellt die charakteristischen Ausprägungen der Größen und Komponenten von technischen Regelkreisen und des definierten Regelkreises des Technologiefrühaufklärungsprozesses zusammenfassend gegenüber.

Tabelle 11: Ausprägungen der Größen und Komponenten der Regelkreistypen
(Quelle: in Anlehnung an Kahlert; Frank (1994), S. 119 - 139 und Kiendl (1997), S. 7 - 25)

Komponenten/ Größen	Technischer Regelkreis	Regelkreis des Technologie- frühaufklärungsprozesses
Führungsgröße	physikalisch (z.B. Länge, Masse, Zeit, Stromstärke, Temperatur, Druck, Kraft, Lichtstärke, ...)	<ul style="list-style-type: none"> • qualitative, unscharf und verallgemeinernd formulierte Ziele und Strategien • gegebenenfalls daraus abgeleitete quantitative Zielgrößen (z.B. physikalische, ökonomische, ökologische, soziale)
Regelgröße	physikalisch, unmittelbar messbar	strategische technologische Entscheidungen, Wirkung nicht unmittelbar messbar
Regelabweichung	physikalische Differenzgrößen	<ul style="list-style-type: none"> • qualitative, unscharfe Differenzgrößen • gegebenenfalls quantitative Differenzgrößen (z.B. physikalische, ökonomische, ökologische, soziale)
Störgröße/Parametervariation	physikalisch	technologische, ökonomische, ökologische, soziale, rechtliche und gesellschaftliche Einflussgrößen
Stellgröße	physikalisch	aufbereitete Informationen beziehungsweise Handlungsempfehlungen
Regler(-funktional)	<ul style="list-style-type: none"> • quantitative und qualitative formale Modelle der technischen Prozesse (z.B. mathematisch, regelbasiert) • auf den formalen Modellen basierende mechanische, pneumatische, hydraulische, elektronische oder kombinierte Regler • Reglerarten: beispielsweise P-, PI-, PD-, PID-Regler, Zweipunkt-, Dreipunkt-Regler 	<p>→ Forschungsziel dieser Arbeit: Entwicklung eines Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen der Technologiefrühaufklärung!</p>
Messglied	Sensor (physikalisch, chemisch)	<ul style="list-style-type: none"> • Technologiecontrolling • Technologiefrühaufklärung
Stellglied	z.B. Stellmotor, Ventil, Relais	nicht erforderlich

6.3.2 Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers

Zur Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers müssen in einem ersten Schritt die linguistischen Variablen einschließlich ihrer linguistischen Werte und Zugehörigkeitsfunktionen, mit denen der Regler anschließend arbeiten soll, bestimmt werden.⁴³⁴ Den Ausgangspunkt der Überlegungen zur Bestimmung dieser linguistischen Variablen bilden die durch den Regler zu erfüllenden Aufgaben der Technologiefrühaufklärung⁴³⁵ und die Fragestellung der zweckmäßigen Zusammenführung dieser Aufgaben mit den spezifischen Funktionen der einzelnen Komponenten des Fuzzy-Reglers.⁴³⁶ In diesem Zusammenhang erscheint es sinnvoll, die Aufgabe der Informationserfassung in die Fuzzyifizierungskomponente zu integrieren und hierdurch die in der Regel unscharf vorliegenden Informationen bereits durch entsprechende linguistische Variablen zu erfassen, und die Aufgaben der Informationsbewertung beziehungsweise der Informationszusammenführung und -strukturierung in die Inferenzmaschine des Fuzzy-Reglers zu integrieren, um hierdurch eine inhaltserhaltende Auswertung und Weiterverarbeitung der unscharfen Informationen zu ermöglichen. Darüber hinaus sind die zur Verfügung stehenden Methoden und Instrumente zur Unterstützung der Durchführung der Aufgaben der Technologiefrühaufklärung⁴³⁷ für die Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers im Rahmen dieser Arbeit von entscheidender Bedeutung. Einerseits stellen sie die Grundlage für die Konzeption des wissensbasierten Fuzzy-Systems dar, da das in ihnen enthaltene Expertenwissen zur Technologiefrühaufklärung für die Entwicklung der Wissensbasis des Fuzzy-Reglers genutzt werden soll. Zudem wird durch den Informationsbedarf der eingesetzten Methoden und Instrumente festgelegt, welche Informationen als Eingangsgrößen innerhalb des Fuzzy-Reglers verarbeitet werden müssen. Aus diesen Eingangsinformationen bestimmen sich wiederum die erforderlichen linguistischen Variablen des Fuzzy-Reglers.⁴³⁸

⁴³⁴ Vgl. Abbildung 21

⁴³⁵ Vgl. Abbildung 14 sowie Kapitel 3.5

⁴³⁶ Vgl. Abbildung 16 sowie Kapitel 6.2.1

⁴³⁷ Vgl. Kapitel 3.5

⁴³⁸ Darüber hinaus müssen auch linguistische Variablen für die Ausgangsgrößen und gegebenenfalls linguistische Variablen für erforderliche Zwischengrößen der eingesetzten Methoden und Instrumente bestimmt werden (vgl. Kapitel 6.3.3).

Um die Unabhängigkeit des Konzeptes von unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen und Zielstellungen der Technologiefrühaufklärung⁴³⁹ zu gewährleisten und hierdurch eine universelle Anwendbarkeit des Konzeptes sicherzustellen, wird für die grundlegende Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers ein Baukastenansatz gewählt, der hinsichtlich der eingesetzten Methoden und Instrumente eine flexible Gestaltung und unternehmensspezifische Anpassung des Fuzzy-Reglers ermöglicht. Abbildung 23 veranschaulicht den zugrunde gelegten prinzipiellen Methodenbaukastenansatz dieser Arbeit zur Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers.

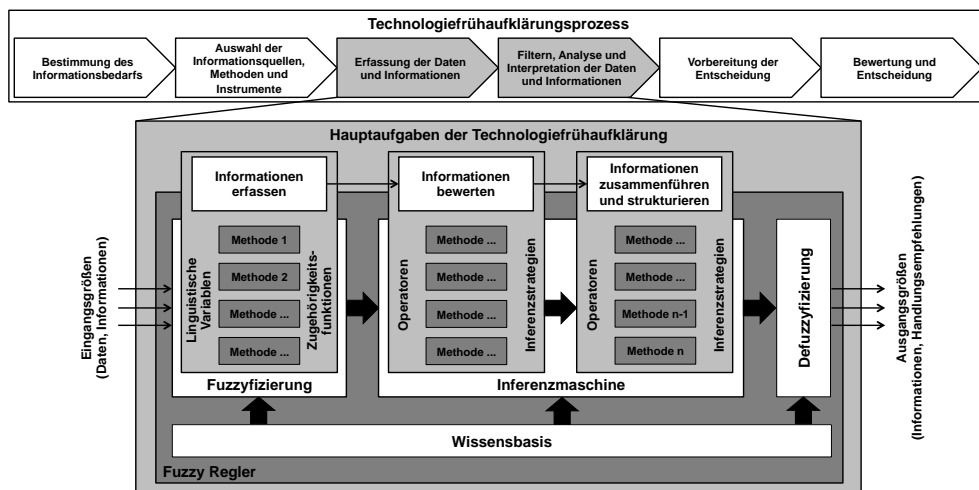


Abbildung 23: Methodenbaukastenansatz zur Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers
(Quelle: Eigene Darstellung)

⁴³⁹ Die Ausgestaltung des Technologiefrühaufklärungsprozesses und die Anwendung der verschiedenen Methoden und Instrumente stellen sich in der Unternehmenspraxis sehr unterschiedlich dar. Beispielsweise können die Größe, die Branchenzugehörigkeit und die Zielstellungen der Unternehmen unterschiedliche unternehmensspezifische Anforderungen an den Umfang und die Intensität, an die methodische Unterstützung sowie an die Organisation der Technologiefrühaufklärung bedingen (vgl. beispielsweise Altmann (1998), S. 340 - 341). Eine Studie zum Technologiemanagement in europäischen Unternehmen unterscheidet in diesem Zusammenhang zunächst technologieproduzierende Unternehmen und technologieanwendende Unternehmen als typische Erscheinungsformen. Diese Unternehmenstypen können weiter in Unternehmen mit technologieintensiven Strategien und einem damit verbundenen großen Forschungs- und Entwicklungsaufwand sowie Unternehmen mit technologiebedingten Strategien und einem damit verbundenen minimalen Forschungs- und Entwicklungsaufwand unterteilt werden. Bereits mit diesen vier grundsätzlichen Unternehmenstypen sind jeweils spezifische Problemstellungen für das Technologiemanagement verbunden. Eine Verfeinerung dieser Klassifizierung kann durch die Berücksichtigung weiterer Kriterien, wie der Wettbewerbssituation und der Größe von Unternehmen, vorgenommen und damit die Unterscheidung unternehmenstypspezifischer Anforderungen und Möglichkeiten bei der Ausgestaltung des Technologiemanagements erweitert werden (vgl. Dankbaar (1996), S. 28, 30, 35).

Wegen des begrenzten Umfangs dieser Arbeit ist es nicht möglich, alle Methoden und Instrumente der Technologiefrühaufklärung in die Entwicklung des Konzeptes einzubeziehen. Aus diesem Grund steht bei den weiteren Ausführungen die Veranschaulichung einer möglichen Vorgehensweise zur Übertragung des Konzeptes eines unscharfen Reglers auf die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung im Vordergrund. Der Leser soll eine Anleitung zur Umsetzung der einzelnen Entwicklungsschritte für den Fuzzy-Regler des Technologiefrühaufklärungsprozesses erhalten und zur eigenständigen situations- beziehungsweise unternehmensspezifischen Anpassung und Weiterentwicklung des vorgestellten Konzeptes befähigt werden.

6.3.2.1 Bestimmung der linguistischen Variablen und linguistischen Werte und Definition der Zugehörigkeitsfunktionen

Zur Bestimmung der linguistischen Variablen müssen die in die einzelnen Methoden und Instrumente eingehenden Informationen identifiziert werden. Um hierbei systematisch vorzugehen, orientieren sich die weiteren Ausführungen an den Hauptaufgaben der Technologiefrühaufklärung. Zunächst wird daher für die Aufgabe der Informationserfassung die Vorgehensweise zur Bestimmung der linguistischen Variablen dargestellt. Daran schließen sich die entsprechenden Betrachtungen für die Aufgaben der Informationsbewertung sowie der Informationszusammenführung und -strukturierung an.

Im Rahmen der Informationserfassung wird das Unternehmensumfeld nach schwachen Signalen und relevanten Veränderungen definierter Frühwarnindikatoren untersucht.⁴⁴⁰ Entsprechend des dargelegten Technologiefrühaufklärungsprozesses werden die hierzu erforderlichen Methoden und Instrumente auf der Basis des identifizierten Informationsbedarfs und der festgelegten Informationsquellen ausgewählt.⁴⁴¹ Da die Entwicklung des Konzeptes dieser Arbeit unabhängig von einer spezifischen Anwendungssituation erfolgt, werden im Folgenden beispielhaft für ausgewählte schwache Signale und Frühwarnindikatoren entsprechende linguistische Variablen bestimmt und die Vorgehensweisen beschrieben.

⁴⁴⁰ Vgl. die Ausführungen zum Scanning und Monitoring in Kapitel 3.5

⁴⁴¹ Vgl. Kapitel 6.1

Als erster Frühwarnindikator sollen für die Technologiefrühaufklärung relevante Patentkennzahlen in die weiteren Betrachtungen einbezogen werden. Patentkennzahlen werden im Rahmen der Dokumenten- beziehungsweise Patentanalyse erhoben.⁴⁴² Patentkennzahlen ermöglichen Aussagen über die Entwicklung von neuen Technologien, Technologiefeldern und Wettbewerbern.⁴⁴³ Nach ihrem Informationsinhalt kann eine Unterscheidung der Patentkennzahlen in Aktivitätskennzahlen, Qualitätskennzahlen, Verbindungskennzahlen und sonstige Kennzahlen erfolgen.⁴⁴⁴ Aktivitätskennzahlen beziehen sich auf den gesamten Zeitraum des Patentverfahrens, von der Erstanmeldung bis zur Löschung eines Patentes, wobei der Patentanmeldung als Ausdruck der Handlungsabsicht zur Umsetzung einer technologischen Neuerung am Markt grundlegende Bedeutung für die Technologiefrühaufklärung zukommt.⁴⁴⁵ Aktivitätskennzahlen ermöglichen Rückschlüsse auf produktspezifische, technologische und personelle Kompetenzfelder oder auf die Technologiestrategien von Wettbewerbern, auf neue Technologiefelder, auf zunehmende oder abnehmende Forschungsaktivitäten in einem Technologiefeld sowie mögliche Markteintrittsbarrieren.⁴⁴⁶ Hierbei können absolute und relative Patentanmeldungskennzahlen unterschieden werden. Ergänzende Aktivitätskennzahlen beziehen sich zum Beispiel auf neue Patentanmelder, die Gesamtanzahl der Patentanmelder, die Konzentration der Patentanmelder oder die Anzahl ausscheidender Patentanmelder hinsichtlich eines bestimmten Technologiefeldes.⁴⁴⁷ Qualitätskennzahlen, beispielsweise Patenterteilungen, Patentlaufzeit, Patentzitate⁴⁴⁸ und Auslandsanmeldungen, differenzieren Pa-

⁴⁴² Die Methoden der Dokumentenanalyse, wie beispielsweise Patent- und Publikationshäufigkeitsanalysen oder Patent- und Publikationsverflechtungsanalysen, finden in Unternehmen regelmäßig Anwendung (vgl. Lichtenthaler (2005), S. 64).

⁴⁴³ Vgl. Geschka (1995), S. 635 und Specht; Beckmann; Amelingmeyer (2002), S. 258

⁴⁴⁴ Vgl. Ernst (1996), S. 37. Ernst weist darauf hin, dass diese Systematisierung nicht überschneidungsfrei ist und dargestellte Patentkennzahlen teilweise auch mehreren Klassen zugeordnet werden können.

⁴⁴⁵ Wissenschaftliche Grundlagenforschung, die in der Regel nicht mit dem Ziel der ökonomischen Umsetzung einer Invention verbunden ist, kann durch Patente nur schwer gemessen werden. Stattdessen eignen sich wissenschaftliche Publikationen als Indikator für technologische Entwicklungen in diesem Bereich (vgl. Ernst (1996), S. 75).

⁴⁴⁶ Vgl. Ernst (1996), S. 42, 43, 48, 49

⁴⁴⁷ Vgl. Ernst (1996), S. 39, 42

⁴⁴⁸ Patentanmeldungen werden auf den notwendigen Neuheitswert für eine Patenterteilung überprüft. Der aktuelle Stand der Technik wird durch die Patentbehörde anhand der existierenden Patente und wissenschaftlichen Veröffentlichungen erhoben. Die bei der

tente nach technologischen und ökonomischen Unterschieden.⁴⁴⁹ Die Einschätzung des technologischen Potentials eines Wettbewerbers anhand der Anzahl der Patentanmeldungen relativiert sich gegebenenfalls durch die dazu ins Verhältnis gesetzte Anzahl der Patenterteilungen. Die Kennzahlen Patentlaufzeit, Patentzitate und Auslandsanmeldungen können als Indikator für die ökonomische Qualität eines Patentes verwendet werden. Zudem lassen Patentzitate auch Aussagen über die technologische Wertigkeit von Erfindungen zu. Die qualitative Untersetzung der Aktivitätskennzahlen ermöglicht es, deren Aussagen hinsichtlich der produktspezifischen, technologischen oder personellen Kompetenzfelder der Wettbewerber zu präzisieren.⁴⁵⁰ Verbindungskennzahlen, die im Wesentlichen aus der Analyse von Patentziten hervorgehen, können technologische Strukturen und Beziehungen von Patenten zwischen und innerhalb einzelner Unternehmen, zwischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen sowie zwischen einzelnen Technologien aufdecken.⁴⁵¹ Sie ermöglichen zum Beispiel die Identifikation dominanter Unternehmen in bestimmten Technologiefeldern oder unterschiedlicher Technologiestrategien einzelner Unternehmen oder zeigen den Übergang von Technologien zwischen Unternehmen auf.⁴⁵² Weiterhin können Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit und die Konstanz der Entwicklung einzelner Technologien⁴⁵³ oder die Breite der Anwendungsfelder einer Technologie gezogen werden.⁴⁵⁴ Mit Hilfe technologischer Landkarten können Interdependenzen zwischen verschiedenen Technologien und Technologiefeldern erkannt werden.⁴⁵⁵ Zu den sonstigen Patentkennzahlen zählen beispielsweise die Wartezeit und die Prüfquote.⁴⁵⁶ Die Wartezeit beschreibt die Zeitspanne zwischen Patentanmeldung und Patenterteilung. Sie kann als ein Qualitätskriterium für das Patent ange-

Beurteilung verwendeten Patentschriften und Veröffentlichungen werden als Entgegnungen beziehungsweise Patentzitate auf der Patentanmeldung dokumentiert (vgl. Ensthaler; Strübbe (2006), S. 80).

⁴⁴⁹ Vgl. Ernst (1996), S. 50

⁴⁵⁰ Vgl. Ernst (1996), S. 51, 54, 62, 65

⁴⁵¹ Vgl. Ernst (1996), S. 68

⁴⁵² Vgl. Narin (1993), S. 20 - 21

⁴⁵³ Vgl. Campbell (1983a), S. 62

⁴⁵⁴ Vgl. Ernst (1996), S. 77

⁴⁵⁵ Vgl. Engelsmann; Raan (1994), S. 6

⁴⁵⁶ Vgl. Ernst (1996), S. 78. Ernst erfasst in dieser Klasse weitere Kennzahlen des Patentieverhaltens, die bisher nicht den anderen Klassen zugeordnet wurden.

sehen werden, da die Wartezeit durch eine frühzeitige Prüfungsantragstellung verkürzt und die juristische Person durch Patenterteilung entsprechend gestärkt werden kann.⁴⁵⁷ Die Prüfquote berücksichtigt, dass neue Patentanmelder in einem Technologiefeld, deren Patentanmeldungen sich noch im Prüfverfahren befinden, bisher möglicherweise eine eher niedrige Erfolgsrate von Patentanmeldungen aufzuweisen haben. Aus der niedrigen Erfolgsrate kann in diesem Zusammenhang aber nicht automatisch eine geringe technologische Bedrohung durch den Wettbewerber geschlussfolgert werden.⁴⁵⁸

Neben der Zeitpunkt Betrachtung technologischer Aktivitäten von Unternehmen durch die bisher dargestellten Patentkennzahlen ist auch die zeitliche Veränderung dieser Kennzahlen von großer Bedeutung für die Technologiefrühaufklärung im Rahmen von Patentanalysen, da sich Inhalt, Qualität und Quantität der Patentaktivitäten im Zeitverlauf ändern können.⁴⁵⁹ Im Wesentlichen kann die Veränderung des Patentierverhaltens von Unternehmen über die Zeit durch die Beobachtung der bisher dargestellten Aktivitäts-, Qualitäts-, Verbindungs- und sonstigen Kennzahlen zu unterschiedlichen Zeitpunkten oder durch zusätzliche, das zeitliche Patentierverhalten charakterisierende Kennzahlen, wie die Patentwachstumsrate oder der Patentbestand, erfolgen.⁴⁶⁰

Um die Vielfalt der möglichen Fragestellungen, die mit Hilfe der Patentanalyse untersucht werden können, zu begrenzen, und hierdurch auch die Anzahl der für die weiteren Ausführungen relevanten Patentkennzahlen, wird für die beispielhafte Bestimmung von linguistischen Variablen für die Kennzahlen der Patentanalyse im Folgenden die Identifikation neuer beziehungsweise prosperierender Technologien und Technologiefelder als Ziel der Technologiefrühaufklärungsaktivitäten angenommen. In diesem Zusammenhang erweisen sich zum Beispiel die Gesamtanzahl der Patentanmeldungen in einem Technologiefeld und die Anzahl der Patentanmelder in einem Technologiefeld als geeignete Patentkennzahlen.⁴⁶¹ Als Bezeichnung der korrespondierenden lingu-

⁴⁵⁷ Vgl. Schmoch et al. (1988), S. 62

⁴⁵⁸ Vgl. Brockhoff (1992), S. 44

⁴⁵⁹ Vgl. Wilson (1987), S. 73 - 75

⁴⁶⁰ Vgl. Ernst (1996), S. 79 - 81

⁴⁶¹ Für den konkreten Anwendungsfall muss überprüft werden, ob weitere oder andere Patentkennzahlen erforderlich sind.

istischen Variablen werden die Namen *Patentanmeldungsgesamtanzahl* und *Patentanmelderanzahl* bestimmt.

Im nächsten Schritt müssen geeignete linguistische Werte für diese linguistischen Variablen definiert werden, um die Kennzahlen der Patentanalyse durch sprachlich formulierte Regeln verarbeiten zu können. Hierzu sind die möglichen Messwerte dieser Patentkennzahlen sprachlich zu interpretieren und eine angemessene Anzahl von linguistischen Werten zu bestimmen.⁴⁶² Die Anzahl der linguistischen Werte ist grundsätzlich von den Gesetzmäßigkeiten des Modellierungsobjektes, den verfügbaren Informationen und den Anwendungsanforderungen abhängig.⁴⁶³ Durch eine große Anzahl von linguistischen Werten kann das Verhalten des Reglers optimiert werden, andererseits erhöht sich der Entwurfs- und Realisierungsaufwand für den Regler entsprechend.⁴⁶⁴ Für viele Anwendungen hat sich eine ungerade, zwischen 3 und 7 liegende Anzahl von linguistischen Werten bewährt. In der Regel erfordern linguistische Variablen mindestens zwei außenliegende Extrempunkte und die dazwischen liegende Mitte. Darüber hinaus sind linguistische Variablen häufig symmetrisch, deren Mitte ausgedrückt werden muss. Aufgrund der beschränkten Verarbeitungskapazität des menschlichen Gehirns von 7 Symbolen bei der sprachlichen Interpretation von Größen werden selten mehr als 7 linguistische Werte verwendet.⁴⁶⁵ Für eine angemessene Differenzierung von möglichen Ausprägungen der Patentanmeldungsgesamtanzahl und der Patentanmelderanzahl erscheint im Rahmen dieser Arbeit eine Anzahl von jeweils 3 linguistischen Werten als ausreichend. Da die Messung der linguistischen Variablen durch die Ermittlung einer Anzahl erfolgt, können die Messwerte durch die linguistischen Werte *hoch*, *mittel*, und *niedrig* sprachlich repräsentiert werden.

Nachdem die linguistischen Variablen bestimmt und deren linguistische Werte festgelegt wurden, folgt im nächsten Schritt die Bestimmung der Zugehörigkeitsfunktionstypen und die Definition der Zugehörigkeitsfunktionen der linguis-

⁴⁶² Vgl. Altrock (1993), S. 24, 152 und Zimmermann (1993), S. 12

⁴⁶³ Vgl. Biewer (1997), S. 237

⁴⁶⁴ Vgl. Kahlert; Franck (1994), S. 170

⁴⁶⁵ Vgl. Altrock (1993), S. 153, Kahlert; Franck (1994), S. 170 und Biewer (1997), S. 237

tischen Variablen.⁴⁶⁶ Zur Definition der Zugehörigkeitsfunktionen werden dreiecks- und trapezförmige Standardzugehörigkeitsfunktionstypen verwendet.⁴⁶⁷ Weiterhin muss für jede linguistische Variable ein Wertebereich definiert werden, der alle Werte umfasst, welche die linguistische Variable grundsätzlich annehmen kann und über den die linguistischen Werte dann verteilt werden. Die Überlappung der linguistischen Werte wird so festgelegt, dass die Vereinigung der Zugehörigkeitsgrade der benachbarten linguistischen Werte 1 ergibt.⁴⁶⁸

Zur Ermittlung von Zugehörigkeitsfunktionen existieren unterschiedliche Ansätze.⁴⁶⁹ Für die linguistischen Variablen der Patentanalyse erscheint insbesondere die Schätzung der Zugehörigkeitsfunktionen auf der Basis von statistischen Daten als geeigneter Ansatz.⁴⁷⁰ Hierfür werden nachfolgend Statistiken

⁴⁶⁶ Vgl. Abbildung 21

⁴⁶⁷ Vgl. Kapitel 4.1.1. Statt Dreiecks- oder Trapezfunktionen ist auch der Einsatz von s- oder glockenförmigen sowie Exponentialfunktionen denkbar. Diese Funktionstypen ermöglichen in den zu null oder eins konvergierenden Bereichen der Zugehörigkeitsfunktionen besonders sanfte Übergänge und erscheinen intuitiv besonders geeignet, allerdings erweisen sich diese Feinheiten bei der Verrechnung von Fuzzy-Mengen häufig als kaum von Bedeutung (vgl. Biewer (1997), S. 58 - 59, 240 und Kahlert; Franck (1994), S. 19 - 20). Für komplexe Systeme wurden auch „Spline“-Zugehörigkeitsfunktionen, deren charakteristische Punkte im Gegensatz zu den Standardfunktionen nicht durch Geraden, sondern durch gekrümmte Kurven verbunden sind, erfolgreich eingesetzt (vgl. Altrock (1993), S. 155 - 158). Erfordern bestimmte Modellierungsaufgaben eine hohe Flexibilität, können auch stückweise lineare Zugehörigkeitsfunktionen eingesetzt werden (vgl. Biewer (1997), S. 61). Trotz der vielfältigen Möglichkeiten für die Definition von Zugehörigkeitsfunktionen finden in der Praxis überwiegend Standardzugehörigkeitsfunktionen Anwendung (vgl. Altrock (1993), S. 154). Standardzugehörigkeitsfunktionen bilden einen geeigneten Ausgangspunkt für den Entwurf eines Fuzzy-Reglers, soweit keine Erkenntnisse über günstigere Zugehörigkeitsfunktionen vorliegen (vgl. Kahlert; Franck (1994), S. 170). Vorteil der Standardzugehörigkeitsfunktionstypen ist, dass diese durch wenige Parameter festgelegt werden können und für diese effiziente Operatoren existieren (vgl. Nauck; Kruse (1997), S. 7 und Biewer (1997), S. 61).

⁴⁶⁸ Vgl. Biewer (1997), S. 238, 393. Ausgehend von diesem Ansatz kann später beispielsweise durch Variation der Einflussbreite einzelner linguistischer Werte, der Anzahl oder des Überlappungsgrades der linguistischen Werte das Verhalten des Reglers gegebenenfalls optimiert werden (vgl. Kahlert; Franck (1994), S. 171).

⁴⁶⁹ Diese können in die Kategorien Axiomatische Ansätze, Schätzungen aus statistischen Erhebungen, direkte Schätzungen und Ähnlichkeitsansätze eingeteilt werden (vgl. Hauke (1998), S. 27 - 39 und die dort angegebene Literatur).

⁴⁷⁰ Zwar merkt Biewer an, dass aufwendige empirische Erhebungen weder theoretisch noch praktisch zwingend erforderlich sind und oft einfache Introspektionen genügen. Dennoch soll innerhalb dieser Arbeit, soweit dies möglich ist, durch eine gewisse empirische Fundierung die grundsätzlich unvermeidbare Subjektivität und teilweise Willkürlichkeit der Zugehörigkeitsfunktionen relativiert werden. Andererseits darf die Möglichkeit, individuel-

über das Patentieverhalten innerhalb des Europäischen Patentübereinkommens (EPÜ) zugrunde gelegt.⁴⁷¹ Die weiteren Ausführungen zur Definition der Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistischen Variablen der Patentanalyse orientieren sich an der folgenden, bewährten Vorgehensweise zur Definition von linguistischen Variablen mit Hilfe von Standardzugehörigkeitsfunktionen:⁴⁷²

1. Festlegung des typischsten Eingangsgrößenwertes für jeden linguistischen Wert. Diesem wird ein Zugehörigkeitsgrad von 1 zugewiesen.⁴⁷³

le Einschätzungen modellieren zu können, nicht mit Beliebigkeit gleichgesetzt werden, da Unschärfen und individual- sowie situationsspezifische Variationen von Funktionsparametern charakteristische Merkmale komplexer Entscheidungssituationen sind (vgl. Biewer (1997), S. 60 - 61).

⁴⁷¹ Auf der Grundlage des Europäischen Patentübereinkommens wurde 1977 die Europäische Patentorganisation gegründet (EPO), zu der gegenwärtig 38 Mitgliedsstaaten gehören. Das Europäische Patentamt (EPA) ist das Exekutivorgan der EPO und bietet über ein einheitliches Anmeldeverfahren in bis zu 40 europäischen Staaten Patentschutz (vgl. EPA (2014a und b)). In Abhängigkeit von der verfolgten Technologie- beziehungsweise Wettbewerbsstrategie eines Unternehmens ist der Untersuchungsbereich für die Patentanalyse gegebenenfalls auf weitere Patentämter in technologiestarken Ländern, wie beispielsweise die USA, Japan, China, Korea oder Taiwan, zu erweitern, um auch die dortigen technologischen Entwicklungen berücksichtigen zu können, sofern die Erfindungen nicht bereits als internationale Patente beim Europäischen Patentamt angemeldet wurden. Unter der Annahme, dass Erfindungen insbesondere bei signifikanten Gewinnerwartungen auch im Ausland patentiert werden (vgl. Basberg (1987), S. 136) und mit diesem ökonomischen Qualitätsindikator eines Patentes zudem eine entsprechende technologische Qualität verbunden ist, sollen die beim Europäischen Patentamt eingehenden Patentanmeldungen als angemessener Indikator für wesentliche nationale und internationale technologische Entwicklungen angenommen werden. Der Autor weist darauf hin, dass dennoch vielfältige Gründe existieren, die dazu führen können, dass Patentanmeldungen im Ausland oder auch grundsätzlich unterbleiben. Dadurch können im Rahmen der Patentanalyse, obwohl schätzungsweise 80 bis 90 Prozent der gesamten Veröffentlichungen von technologischen Wissens durch Patente erfolgt (vgl. Faix (1998), S. 43), auch technologische Entwicklungen verborgen bleiben. Die Einflussgrößen auf die Patentierneigung von Unternehmen diskutieren beispielsweise Ernst (1996), S. 149 - 164 oder Ensthaler; Strübbe (2006), S. 35 - 52.

⁴⁷² Vgl. Altrock (1993), S. 154 - 155

⁴⁷³ Bei der Modellierung der linguistischen Variablen durch die einzelnen linguistischen Werte ist zu beachten, dass in den Bereichen, in denen ein linguistischer Wert einen Zugehörigkeitsgrad von 1 annimmt, alle anderen linguistischen Werte der linguistischen Variablen den Zugehörigkeitsgrad 0 haben müssen, um eine sinnvolle Interpretation der Eingangsgrößen sicherzustellen. Weiterhin sollte für den gesamten Definitionsbereich einer linguistischen Variablen mindestens ein linguistischer Wert mit einem positiven Zugehörigkeitsgrad existieren (vgl. Hauke (1998), S. 23).

2. Festlegung der Eingangsgrößenwerte, ab dem der Zugehörigkeitsgrad jedes linguistischen Wertes gleich 0 ist. Diese sind die typischsten Eingangsgrößenwerte der benachbarten linguistischen Werte.
3. Verbinden des Punktes mit dem Zugehörigkeitsgrad von 1 mit den Punkten, die einen Zugehörigkeitsgrad von 0 haben, durch eine Gerade. Für die inneren linguistischen Werte einer linguistischen Variablen ergibt dies dreiecksförmige Zugehörigkeitsfunktionen.⁴⁷⁴
4. Wegen der fehlenden Nachbarn bei den äußeren linguistischen Werten, den Randmengen, wird allen weiter außen liegenden Eingangsgrößenwerten ein Zugehörigkeitsgrad von 1 zum entsprechenden linguistischen Wert zugewiesen.⁴⁷⁵

Die typischsten Eingangsgrößenwerte für die linguistischen Werte der linguistischen Variablen *Patentanmeldungsgesamtanzahl* je Technologiefeld werden aus der Statistik des EPA über die Patentanmeldungen je Technologiefeld in den Jahren 2003 - 2012 abgeleitet.⁴⁷⁶ Zur Abgrenzung der Technologiefelder dienen im Rahmen dieser Arbeit die vom Europäischen Patentamt verwendete Klassifikation der Technologiefelder nach der International Patent Classification Technology Concordance Table der World Intellectual Property Organisation (WIPO)⁴⁷⁷ beziehungsweise die International Patent Classification (IPC).⁴⁷⁸

⁴⁷⁴ Besteht der typischste Eingangsgrößenwert eines linguistischen Wertes aus einem Intervall statt aus einem einzigen Wert, ergibt sich eine trapezförmige Zugehörigkeitsfunktion.

⁴⁷⁵ Da die Messung der Patentkennzahlen keine negativen Werte liefern kann, wird die untere Grenze der Wertebereiche der betrachteten linguistischen Variablen durch den kleinstmöglichen Eingangsgrößenwert 0 gebildet. Bezüglich des größtmöglichen Eingangsgrößenwertes der betrachteten linguistischen Variablen existiert keine natürliche obere Grenze des Wertebereiches und die Eingangsgrößenwerte können theoretisch unendlich groß werden.

⁴⁷⁶ Vgl. EPA (2012a). Die Zahlen beinhalten jeweils die Europäischen Direktanmeldungen nach dem EPÜ (Europäisches Patentübereinkommen) und internationale Anmeldungen nach dem PCT (Patent Cooperation Treaty), zu dem gegenwärtig weltweit 148 Mitgliedsstaaten zählen (vgl. WIPO (2014a)). Statistische Daten des EPA für das Jahr 2013 standen zum Zeitpunkt der Erhebung dieser Daten noch nicht zur Verfügung.

⁴⁷⁷ Vgl. WIPO (2014b). Hiernach werden die Technologien in den Sektor *Electrical engineering* mit den Technologiefeldern (1) Electrical machinery, apparatus, energy, (2) Audio-visual technology, (3) Telecommunications, (4) Digital communication, (5) Basic communication processes, (6) Computer technology, (7) IT methods for management und (8) Semiconductors, den Sektor *Instruments* mit den Technologiefeldern (9) Optics, (10) Measurement, (11) Analysis of biological materials, (12) Control und (13) Medical technology, den Sektor *Chemistry* mit den Technologiefeldern (14) Organic fine chemistry, (15) Biotechnology, (16) Pharmaceuticals, (17) Macromolecular chemistry, polymers,

Durch die Zuordnung der IPC-Codes zu den klassifizierten Technologiefeldern der WIPO können die Patentanmeldungsgesamtanzahlen innerhalb eines Technologiefeldes ermittelt werden.⁴⁷⁹ Zur Festlegung der typischsten Eingangsgrößenwerte werden die Patentanmeldungsgesamtanzahlen je Technologiefeld der Jahre 2003 - 2012 durch α -Quantile mit $\alpha \in \{0,1; 0,3; 0,7; 0,9\}$ in die unteren 10%, die mittleren 40% und die oberen 10% der Patentanmeldungsgesamtanzahlen unterteilt. Die resultierenden Intervalle $\{0; 1.351\}$, $\{2.905; 5.474\}$ und $\{7.048; \infty\}$ können als die typischsten Eingangsgrößenwerte für die linguistischen Werte niedrig, mittel und hoch der Patentanmeldungs-

(18) Food chemistry, (19) Basic materials chemistry, (20) Materials, metallurgy, (21) Surface technology, coating, (22) Micro-structural and nano-technology, (23) Chemical engineering und (24) Environmental technology, den Sektor *Mechanical engineering* mit den Technologiefeldern (25) Handling, (26) Machine tools, (27) Engines, pumps, turbines, (28) Textile and paper machines, (29) Other special machines, (30) Thermal processes and apparatus, (31) Mechanical elements und (32) Transport sowie den Sektor *Other fields* mit den Technologiefeldern (33) Furniture, games, (34) Other consumer goods and (35) Civil engineering eingeteilt.

⁴⁷⁸ Über 100 Patentämter klassifizieren weltweit nach der IPC. Diese untergliedert das gesamte Gebiet der Technik hierarchisch in die 8 Sektionen A (Täglicher Lebensbedarf), B (Arbeitsverfahren, Transportieren), C (Chemie, Hüttenwesen), D (Textilien, Papier), E (Bauwesen, Erdbohren, Bergbau), F (Maschinenbau, Beleuchtung, Heizung, Waffen, Sprengen), G (Physik) und H (Elektrotechnik), die wiederum jeweils in Klassen und Unterklassen sowie Haupt- und Untergruppen unterteilt werden, beispielsweise G Physics, G02 Optics, G02C Spectacles, sunglasses or goggles, G02C5 Construction of non-optical parts, G02C5/14 Side members, G02C5/20 Adjustable, telescopic (vgl. DPMA (2014a) und EPA (2014c)). Aktuell werden insgesamt 129 Klassen, 638 Unterklassen, 7.391 Hauptgruppen und 64.046 Untergruppen unterschieden (vgl. WIPO (2014c)). Im Rahmen der Patentanalyse ermöglichen Untersuchungen von Patentaktivitäten in den Patentklassen beziehungsweise deren Unterklassen und Gruppen differenzierte Vergleiche, beispielsweise von Schwerpunktsetzungen in der erfinderischen Tätigkeit von Unternehmen, und geben differenzierte Einblicke in die technologischen Entwicklungen einzelner Technologiefelder (vgl. Ernst (1994), S. 42, 44).

⁴⁷⁹ In der Regel ist eine Patenthauptgruppe entsprechend der IPC-Technology Concordance Table genau einem Technologiefeld zugeordnet. Beispielsweise ist die Hauptgruppe F02B1: Sektion F (Maschinenbau, Beleuchtung, Heizung, Waffen, Sprengen), Klasse 02 (Brennkraftmaschinen; mit Heißgas oder Abgasen betriebene Kraftmaschinenanlagen), Unterklasse B (Brennkraftmaschinen mit innerer Verbrennung mit Verdrängerwirkung, Brennkraftmaschinen allgemein), Hauptgruppe 1 (Brennkraftmaschinen, gekennzeichnet durch Gemischverdichtung) eindeutig dem Technologiefeld (27) *Engines, pumps, turbines* im Sektor *Mechanical engineering* zugeordnet (vgl. DPMA (2014b) und WIPO (2014b)). Da zu den *Patentkennzahlen je Patentklasse* in den Statistiken keine Zahlen vorliegen und der Nutzen der Generierung eigener belastbarer Zahlen mit Hilfe von Patentdatenbanken im Vergleich zum Aufwand für diese Arbeit nicht gerechtfertigt ist, beschränkt sich der Autor auf die Betrachtungsebene der Technologiefelder.

gesamtanzahlen je Technologiefeld interpretiert werden.⁴⁸⁰ Die Übergänge der α -Quantile vom Zugehörigkeitsgrad 1 zum Zugehörigkeitsgrad 0 werden durch Geraden modelliert.⁴⁸¹ Abbildung 24 zeigt den Verlauf der entsprechenden Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistische Variable Patentanmeldungs-gesamtanzahl je Technologiefeld.

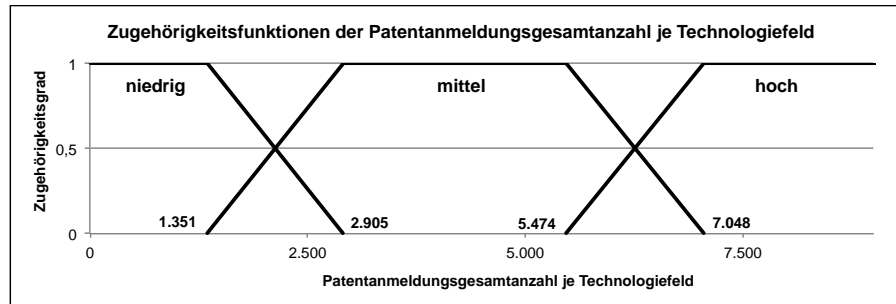


Abbildung 24: Zugehörigkeitsfunktionen der Patentanmeldungs-gesamtanzahl je Technologiefeld (Quelle: Eigene Darstellung)

Zur Festlegung der typischsten Eingangsgrößenwerte für die linguistischen Werte der linguistischen Variablen *Patentanmelderanzahl* je Technologiefeld werden zusätzlich die vom EPA veröffentlichten Statistiken des Jahres 2012 über die 10 anmeldestärksten Technologiefelder herangezogen.⁴⁸² Die ty-

⁴⁸⁰ Vgl. Scheffels (1996), S. 74, 76. Scheffels schlägt diese Vorgehensweise in einem Beispiel zur Anwendung der Fuzzy Set Theorie in der Jahresabschlussanalyse vor. Für die Bestimmung der typischsten Eingangsgrößenwerte nutzt er α -Quantile mit $\alpha \in \{0,25; 0,375; 0,625; 0,75\}$ und weist darauf hin, dass in Abhängigkeit des Anwendungsfalls Modifizierungen vorgenommen werden können, beispielsweise durch Veränderung von Quantilsabständen, um kritischen Ausprägungen von Kennzahlen entsprechende Bedeutung beimessen zu können oder durch Verschieben von Zugehörigkeitsfunktionen, um bestimmte Mindestbedingungen für die Zugehörigkeit zu einer Beurteilungsklasse berücksichtigen zu können (vgl. Scheffels (1996), S. 77, 81). Da die vorgeschlagenen α -Quantile zu einer wenig differenzierenden Darstellung für die typischsten niedrigen, mittleren und hohen Patentanmeldungsanzahlen je Technologiefeld führen, wurde eine entsprechende Verkleinerung der Intervalle für die linguistischen Werte niedrig und hoch sowie eine Vergrößerung des mittleren Intervalls vorgenommen. Die Intervallgrenzen wurden mit der Excel-Funktion „QUANTIL.INKL (Array; k)“ ermittelt.

⁴⁸¹ Scheffels modelliert die Übergänge zwischen den Intervallgrenzen als s-förmige Funktionen (vgl. Scheffels (1996), S. 74). Aus den oben bereits benannten Gründen der einerseits im Allgemeinen sehr robusten Operationen über Fuzzy-Mengen und den damit verbundenen, kaum bedeutenden Auswirkungen von geringfügigen Variationen des Verlaufs der Zugehörigkeitsfunktionen und der andererseits fehlenden Erkenntnisse über gegebenenfalls günstigere Verläufe der Zugehörigkeitsfunktionen für den vorliegenden Anwendungsfall, greift der Autor auf den vielfach bewährten Einsatz von Standardzugehörigkeitsfunktionstypen zurück.

⁴⁸² Da für die anderen 25 Technologiefelder vom EPA keine Daten über die Anzahl der Patentanmelder je Technologiefeld veröffentlicht wurden, wird mit Hilfe der durchschnittli-

pischsten Eingangsgrößenwerte für die linguistischen Werte niedrig, mittel und hoch werden wiederum durch α -Quantile ermittelt. Mit $\alpha \in \{0,1; 0,3; 0,7; 0,9\}$ ergeben sich die Intervalle $\{0; 263\}$, $\{509; 806\}$ und $\{1.996; \infty\}$ für die typischsten Eingangsgrößenwerte.⁴⁸³ Abbildung 25 zeigt die resultierenden Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistische Variable *Patentanmelderanzahl je Technologiefeld*.

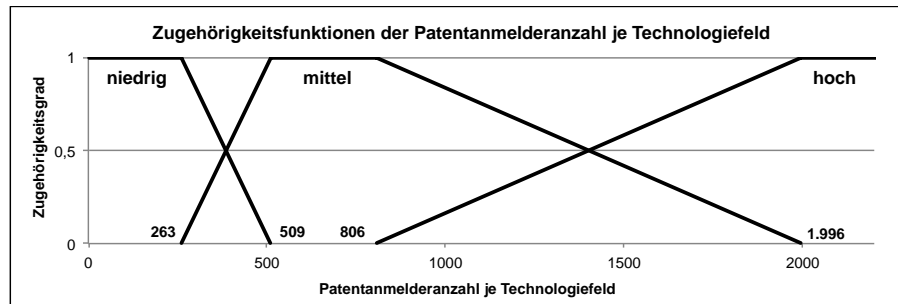


Abbildung 25: Zugehörigkeitsfunktionen der Patentanmelderanzahl je Technologiefeld
(Quelle: Eigene Darstellung)

Mit den vorangegangenen Ausführungen soll ein Beispiel für die methodische Vorgehensweise zur Definition von linguistischen Variablen für die Patentanalyse bereitgestellt werden. Die vorgeschlagene Anzahl der verwendeten linguistischen Werte, die verwendeten Zugehörigkeitsfunktionstypen sowie die definierten Intervalle für die typischsten Eingangsgrößenwerte sind auf ihre Eignung für den Einzelfall zu überprüfen. In Abhängigkeit von den konkreten Fra-

chen Anzahl von 5,38 Patentanmeldungen je Patentanmelder in diesen Technologiefeldern die Anzahl der Patentanmelder für diese Technologiefelder näherungsweise ermittelt (vgl. EPA (2012a) und EPA (2012b)).

⁴⁸³ Durch die gewählten α -Quantile wird berücksichtigt, dass insbesondere eine hohe (niedrige) Anzahl der Patentanmelder als gesteigertes (nachlassendes) Interesse an einem Technologiefeld interpretiert werden kann (vgl. (Ernst (1996), S. 48). Dennoch ist bei der Modellierung einer spezifischen Fragestellung zu beachten, dass sich die Patentaktivitäten in den einzelnen Technologiefeldern hinsichtlich der Anzahl der Patentanmeldungen je Patentanmelder und der Anzahl der Patentanmelder zum Teil erheblich voneinander unterscheiden. Von den 10 Technologiefeldern mit den meisten Patentanmeldungen (zusammen 73.495 Anmeldungen) war die Anzahl der Patentanmelder (zusammen 18.705 Anmelder) im Technologiefeld Medical technology mit 3.415 Anmeldern am höchsten (durchschnittlich 3,05 Anmeldungen pro Anmelder), im Technologiefeld Digital communication mit 806 Patentanmeldern am niedrigsten (durchschnittlich 11,90 Anmeldungen pro Anmelder). Im Durchschnitt wurden 4,55 Patentanmeldungen pro Patentanmelder im Jahr 2012 vorgenommen (vgl. EPA (2012b)). Unter Umständen erfordern die spezifischen Gegebenheiten eines Technologiefeldes eine Anpassung der gewählten α -Quantile, insbesondere auch vor dem Hintergrund, dass zum Teil Durchschnittswerte für die Ermittlung der Intervalle genutzt wurden.

gestellungen, die mit Hilfe der Patentanalyse beantwortet werden sollen, kann der Aufwand zur Beschaffung und Auswertung der entsprechenden statistischen Daten zur Bestimmung der Zugehörigkeitsfunktionen sehr groß werden. Nicht alle Informationen liegen in veröffentlichten Statistiken oder in der erforderlichen Qualität vor und müssen dann beispielsweise durch eigene Recherchen in Patentdatenbanken erhoben werden. Erweist sich der Aufwand zur Beschaffung der Informationen als zu groß oder liegen keine adäquaten Informationen vor, ist ein anderer Ansatz zur Bestimmung der Zugehörigkeitsfunktionen in Betracht zu ziehen.⁴⁸⁴

Als weiterer Frühwarnindikator soll im Folgenden eine Kennzahl der Kundenzufriedenheit zur Bestimmung und Definition der linguistischen Variablen herangezogen werden. Die Analyse der Kundenzufriedenheit ermöglicht die Identifikation zukünftiger Bedürfnisse und Wünsche von Kunden und lässt in diesem Zusammenhang entsprechende Rückschlüsse auf die Relevanz der damit verbundenen Technologiebereiche zu.⁴⁸⁵ Als Kennzahl beziehungsweise linguistische Variable für die Kundenzufriedenheit wird beispielhaft der *Grad der Bedürfnisbefriedigung* hinsichtlich der Erfüllung der technischen beziehungsweise funktionalen Anforderungen an ein Produkt oder eine Leistung in die weiteren Betrachtungen einbezogen.⁴⁸⁶ Eine physikalische Skala, auf welcher der Bedürfnisbefriedigungsgrad gemessen werden kann, existiert in der Regel nicht. Vielmehr werden zur Beschreibung des Bedürfnisbefriedigungsgrades qualitative verbale Beschreibungen über die Intensität der Zufriedenheit bezüglich der technischen und funktionalen Eigenschaften eines Objektes verwendet. Auch wenn linguistische Variablen grundsätzlich ohne eine Basisvariable denkbar sind, soll zur besseren Handhabbarkeit der linguistischen Variablen⁴⁸⁷ eine Skala von 0 bis 100 Prozent für die Definition der linguistischen Werte zugrunde gelegt werden. Dieser Wertebereich kann als subjektives Kontinuum der Intensität⁴⁸⁸ verstanden werden, mit der die Eigenschaft der

⁴⁸⁴ Vgl. nochmals die Fußnote 469 und Fußnote 470

⁴⁸⁵ Vgl. Peiffer (1992), S. 177

⁴⁸⁶ Zur Eignung von kundenorientierten Indikatoren für die Technologiefrühaufklärung vgl. beispielsweise die Ausführungen bei Huxold (1990), S. 112 - 124 und Peiffer (1992), S. 177 - 182 sowie die dort angegebene Literatur.

⁴⁸⁷ Vgl. Zimmermann (1993), S. 13

⁴⁸⁸ Vgl. hierzu die Ausführungen zur Interpretation von Zugehörigkeit als Intensität (1) beziehungsweise Intensität (2) in Kapitel 4.2.2

linguistischen Variable auf ein bestimmtes Objekt zutrifft. Der Intensitätsgrad der entsprechenden Eigenschaft wird der linguistischen Variablen dabei durch die subjektive Einschätzung eines Experten oder Entscheidungsträgers in Form einer prozentualen Bewertung des Zutreffens einer Eigenschaft beigegeben. Beim Bedürfnisbefriedigungsgrad entspricht der Intensitätsgrad der Einschätzung eines Kunden, wie gut seine Bedürfnisse durch bestimmte technische beziehungsweise funktionale Eigenschaften von Produkten oder Leistungen befriedigt werden. Um bei der Erfassung dieser qualitativen Informationen einen ausreichenden Differenzierungsgrad zur sprachlichen Bewertung der Bedürfnisbefriedigung zur Verfügung zu stellen, werden die 5 linguistischen Werte *sehr niedrig*, *niedrig*, *mittel*, *hoch* und *sehr hoch* für diese linguistische Variable festgelegt. In einem pragmatischen Ansatz kann die Definition der Zugehörigkeitsfunktionen durch die Interpretation der linguistischen Werte als 0%, 25%, 50%, 75% und 100% repräsentierende Intensität der Bedürfnisbefriedigung des Kunden vorgenommen werden.⁴⁸⁹ Durch die Gleichverteilung der linguistischen Werte über den Wertebereich mit Hilfe von Dreiecksstandardzugehörigkeitsfunktionen, wobei die Überlappungen der benachbarten linguistischen Werte wiederum so festgelegt sind, dass beim Zugehörigkeitsgrad 0 eines linguistischen Wertes der benachbarte linguistische Wert einen Zugehörigkeitsgrad von 1 annimmt, ergeben sich die in Abbildung 26 dargestellten Zugehörigkeitsfunktionen für den Grad der Bedürfnisbefriedigung.

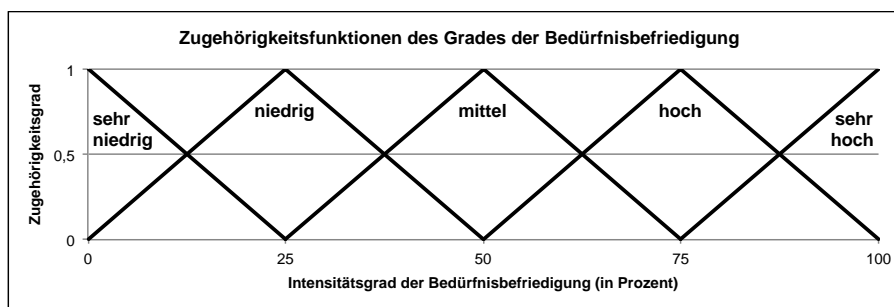


Abbildung 26: Zugehörigkeitsfunktionen des Bedürfnisbefriedigungsgrades
(Quelle: Eigene Darstellung)

Abschließend werden die *Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen* von Unternehmen als weiterer Frühwarnindikator beziehungsweise als linguistische Variable für das Monitoring in den Ausführungen zur Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers und zur beispielhaften Definition von linguistischen Va-

⁴⁸⁹ Vgl. beispielsweise Bitterlich; Fröber; Lull (1997), S. 104

riablen berücksichtigt. Die Notwendigkeit der Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit durch Innovationen zwingt Unternehmen dazu, in die Forschung und Entwicklung von neuen Produkten und Prozessen zu investieren.⁴⁹⁰ Aus überproportionalen Veränderungen der Aufwendungen von Unternehmen für die Forschung und Entwicklung oder des eingesetzten Forschungs- und Entwicklungspersonals kann auf eine zunehmende Wettbewerbsrelevanz bestimmter technologischer Bereiche geschlossen werden.⁴⁹¹ Während branchenbezogene, globale Informationen aus Sekundärstatistiken und Datenbanken relativ einfach beschafft werden können, sind unternehmensspezifische Daten, die konkrete Aussagen zu wettbewerbsrelevanten Aktivitäten potentieller technologischer Konkurrenten ermöglichen, in der Regel nur durch aufwändigere Recherchen, beispielsweise in Geschäftsberichten oder Fachzeitschriften, zu erhalten.⁴⁹² Eine allgemeingültige Definition der Zugehörigkeitsfunktionen für diese linguistische Variable ist nicht möglich, da die Kennzahlen zu den Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen von Unternehmen beispielsweise in Abhängigkeit von der Branche oder der Unternehmensgröße stark variieren können. Um ein Beispiel für die Definition der Zugehörigkeitsfunktionen für diese linguistische Variable bereitzustellen, wird wiederum eine Skala der Intensität von 0 bis 100 Prozent herangezogen, welche die Bewertung der erfassten Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen eines bestimmten Unternehmens durch die Einschätzung eines Experten oder Entscheidungsträgers im Kontext des jeweiligen Unternehmensumfeldes ermöglicht. Die sprachliche Bewertung der Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen erfolgt durch die gleichen linguistischen Werte und Zugehörigkeitsfunktionen wie bei der zuvor definierten linguistischen Variablen des Bedürfnisbefriedigungsgrades.⁴⁹³

Von den angeführten schwachen Signalen werden für die Fortsetzung der Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers das *Verbesserungspotential vorhandener technologischer Kompetenzen* und die *Relevanz neuer Technologien* als linguistische Variable für das Scanning in die nachfolgenden Ausführungen

⁴⁹⁰ Vgl. Gerybadze (2004), S. 3 - 4

⁴⁹¹ Vgl. Wolfrum (1994), S. 140

⁴⁹² Vgl. Peiffer (1992), S. 151 - 152 und Wolfrum (1994), S. 141

⁴⁹³ Vgl. nochmals Abbildung 26

einbezogen.⁴⁹⁴ Auch für diese linguistischen Variablen besteht die Schwierigkeit, eine physikalische Skala zur Messung der schwachen Signale zu definieren, da eine quantitative Bewertung wegen der großen Interpretationsspielräume dieser Informationen in der Regel nicht möglich ist. Aus diesem Grund wird als Wertebereich dieser linguistischen Variablen wiederum der von einem Experten oder Entscheidungsträger beigemessene Intensitätsgrad des schwachen Signals bezüglich der betrachteten Eigenschaft der linguistischen Variable definiert. Als linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen dieser linguistischen Variablen werden die entsprechenden Konstrukte der vorangegangenen Überlegungen übernommen.⁴⁹⁵

Um die bis hierher definierten linguistischen Variablen für das Scanning beziehungsweise das Monitoring auch hinsichtlich ihrer zeitlichen Veränderung zwischen zwei Erfassungszeitpunkten beurteilen zu können, wird für diese zusätzlich jeweils eine linguistische Variable definiert, die in Abhängigkeit von der prozentualen Veränderung ihrer auf der Basisvariablen gemessenen Eingangsgrößenwerte eine Bewertung ihrer Veränderung ermöglicht. Hierzu werden die linguistischen Werte *abnehmend*, *konstant* und *zunehmend* mit den in Abbildung 27 dargestellten Zugehörigkeitsfunktionen definiert.⁴⁹⁶

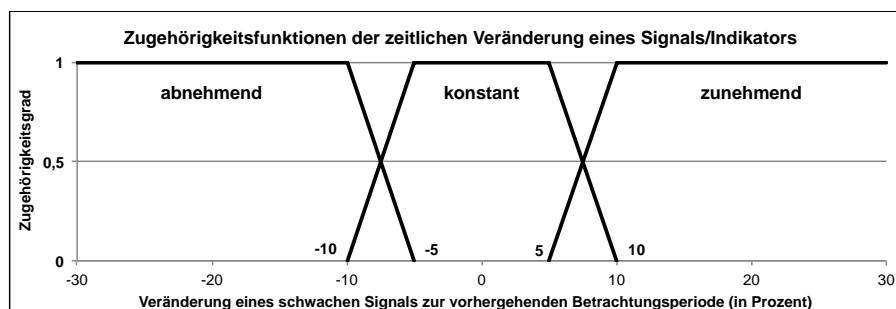


Abbildung 27: Zugehörigkeitsfunktionen der zeitlichen Veränderung eines Signals/Indikators
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Angemessenheit der definierten linguistischen Variablen für die vorgestellten Frühwarnindikatoren und schwachen Signale muss im Rahmen einer kon-

⁴⁹⁴ Vgl. Kapitel 3.5

⁴⁹⁵ Vgl. nochmals Abbildung 26

⁴⁹⁶ Um eine Überbewertung der Veränderungen derjenigen Eingangsgrößenmesswerte, die eher auf der natürlichen Streuung als auf einem Trend beruhen, zu vermeiden, wurde der linguistische Wert für die als vollständig konstant zu interpretierenden Eingangsgrößenmesswerte entsprechend größer definiert.

kret gegebenen Fragestellung überprüft werden. Da die Definition der linguistischen Variablen unabhängig von einer spezifischen Anwendungssituation auf einer entsprechenden Abstraktionsebene vorgenommen wurde, kann es für die adäquate Modellierung einer unternehmens- oder branchenspezifischen Fragestellung beispielsweise erforderlich sein, die Anzahl der linguistischen Werte, die Zugehörigkeitsfunktionstypen, die Intervalle für die typischsten Eingangsgrößenwerte der linguistischen Werte, die Überlappungsgrade der linguistischen Werte oder deren Verteilung über den Wertebereich anzupassen.⁴⁹⁷

Im nächsten Schritt ist die Struktur des Fuzzy-Reglers für die Aufgabe der Informationsbewertung weiterzuentwickeln. Auch zur Durchführung der Informationsbewertung stehen verschiedene Methoden und Instrumente zur Verfügung. Insbesondere das in diesen Methoden und Instrumenten enthaltene Expertenwissen zur Informationsbewertung bildet die Grundlage für die Entwicklung der Wissensbasis des Fuzzy-Reglers. Für die Zwecke dieser Arbeit werden das Technologie-Portfolio-Konzept und das Technologielebenszyklus-Konzept als Beispiele zur Gestaltung des Fuzzy-Reglers für die Aufgabe der Informationsbewertung in die weiteren Betrachtungen einbezogen. In diesem Zusammenhang ist es im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich, verschiedene Herangehensweisen und die Möglichkeiten des Einsatzes unterschiedlicher Konzepte der Fuzzy Set Theorie zur Fuzzyifizierung dieser Methoden zu untersuchen. Der Ansatz dieser Arbeit zielt auf einer den einzelnen Methoden und Instrumenten übergeordneten Ebene auf die Entwicklung eines methodenübergreifenden und methodenintegrierenden fuzzy-basierten Technologiefrühaufklärungsprozesses zur Erfassung, inhaltserhaltenden Weiterverarbeitung und Bewertung von unscharfen Informationen und einer darauf basierenden Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen der Technologiefrühaufklärung. Die Potentiale der Fuzzy Set Theorie sollen neben der Integration von Unschärfe in die Entscheidungsgrundlagen der Technologiefrühaufklärung insbesondere zur gezielten Verknüpfung und Ergänzung des in den einzelnen Methoden und Instrumenten enthaltenen Problemlösungswissens genutzt werden.⁴⁹⁸ Aus diesem Grund wird auf vorhandene Ansätze zur Integration der Fuzzy Set Theorie in das Technologie-Portfolio-Konzept beziehungsweise das

⁴⁹⁷ Vgl. hierzu auch die Ausführung zur Optimierung des Reglerverhaltens in Kapitel 6.3.4

⁴⁹⁸ Vgl. Tabelle 10 und Kapitel 5.2.4

Technologielebenszyklus-Konzept zurückgegriffen und eine Anpassung dieser Ansätze nur insoweit vorgenommen, als diese für die Zielstellungen dieser Arbeit erforderlich sind. Zur Übertragung und Integration der Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen dieser Konzepte in die Wissensbasis des Fuzzy-Reglers werden die Konzepte nachfolgend kurz vorgestellt und die hierzu erforderlichen linguistischen Variablen und linguistischen Werte sowie entsprechende Zugehörigkeitsfunktionen definiert.

Das Technologie-Portfolio-Konzept zielt darauf ab, die in einem Produkt enthaltenen beziehungsweise die in einem Unternehmen verwendeten Technologien anhand einer Matrix mit den zwei Dimensionen Technologieattraktivität und Ressourcenstärke zu bewerten und darauf basierend eine Ableitung differenzierter Strategien und Handlungsempfehlungen für zukünftige Entwicklungsaktivitäten zu ermöglichen.⁴⁹⁹ Die Dimension Technologieattraktivität setzt sich aus den Bewertungskriterien Technologie-Potential-Relevanz und Technologie-Bedarfs-Relevanz zusammen, welche sich wiederum aus den Bewertungskriterien Weiterentwickelbarkeit und Zeitbedarf beziehungsweise Anwendungsumfang und Diffusionsverlauf zusammensetzen. Die Dimension Ressourcenstärke besteht aus den untergeordneten Bewertungskriterien Finanzstärke und Know-How-Stärke eines Unternehmens, die wiederum aus den diesen untergeordneten Bewertungskriterien Budgethöhe und Kontinuität des Budgets beziehungsweise Know-How-Stand und Stabilität des Know-Hows bestehen.⁵⁰⁰ Zur Abbildung der Funktionsweise und der Schlussfolgerungsmechanismen des Technologie-Portfolio-Konzeptes werden die Dimensionen und deren untergeordnete Bewertungskriterien als linguistische Variablen definiert.⁵⁰¹ Als Basisvariable der linguistischen Variablen des Technologie-Portfolio-Konzeptes wird der beigemessene Intensitätsgrad der betrachteten Eigenschaft der linguistischen Variablen gewählt.⁵⁰² Um eine entsprechen-

⁴⁹⁹ Vgl. Pfeiffer et al. (1991), S. 79. Es existieren weitere Technologieportfolio-Konzepte, die sich zu dem hier dargestellten Konzept in den verwendeten Dimensionen und Subkriterien sowie den abgeleiteten Strategien unterscheiden (vgl. beispielsweise Wolfrum (1991), S. 224 - 246 oder Gerpott (2005), S. 154 - 165).

⁵⁰⁰ Vgl. Pfeiffer et al. (1991), S. 85 - 92

⁵⁰¹ Vgl. hierzu und im Folgenden Zimmermann (1989), S. 267 - 270, Werners (1993), S. 278 - 306, Popp (1994), S. 279 - 280, Hauke (1998), S. 165 - 167 und Hauke (2001), S. 262 - 264

⁵⁰² Vgl. die Ausführungen weiter oben zur Definition der linguistischen Variablen für die Aufgabe der Informationserfassung

de Differenzierung bei der Bewertung zu ermöglichen, werden für die linguistischen Variablen *Weiterentwickelbarkeit*, *Zeitbedarf*, *Anwendungsumfang*, *Budgethöhe*, *Kontinuität des Budgets*, *Know-how-Stand* und *Stabilität des Know-hows* die linguistischen Werte *sehr gering*, *gering*, *mittel*, *hoch* und *sehr hoch* sowie für die linguistische Variable *Diffusionsverlauf* die linguistischen Werte *sehr langsam*, *langsam*, *mittel*, *schnell* und *sehr schnell* festgelegt. Abbildung 28 zeigt die Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistischen Variablen der untersten Bewertungsstufe des Technologie-Portfolio-Konzeptes am Beispiel des Bewertungskriteriums Weiterentwickelbarkeit.⁵⁰³

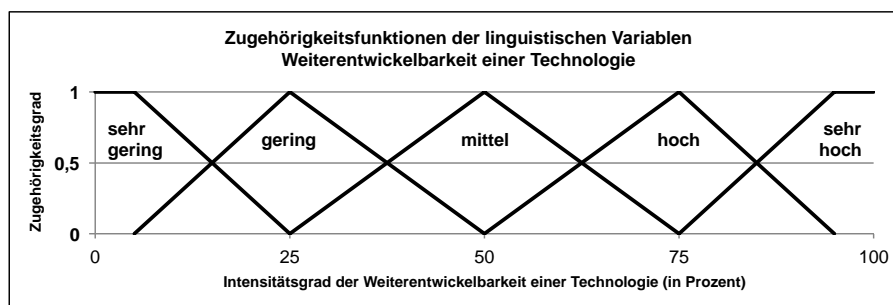


Abbildung 28: Zugehörigkeitsfunktionen der Weiterentwickelbarkeit
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Bewertung und Positionierung einer Technologie im Technologie-Portfolio erfolgt durch eine zweistufige Aggregation der Kriterien der untersten Bewertungsstufe zu den Dimensionen Technologieattraktivität und Ressourcenstärke.⁵⁰⁴ Die linguistischen Variablen *Technologie-Potential-Relevanz* und *Technologie-Bedarfs-Relevanz* beziehungsweise *Finanzstärke* und *Know-how-Stärke* der ersten Aggregationsstufe werden in gleicher Weise wie die linguistischen Variablen der untersten Bewertungsstufe durch die linguistischen Wer-

⁵⁰³ Die Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Variablen *Diffusionsverlauf* besitzen für die korrespondierenden linguistischen Werte einen entsprechenden Verlauf. Im Unterschied zu den zuvor auf dieser Basisvariablen definierten linguistischen Variablen wurden für die äußeren linguistischen Werte trapezförmige Zugehörigkeitsfunktionen gewählt. Hierdurch kann bereits den in der Nähe von 0 beziehungsweise 100 Prozent liegenden Eingangsgrößenwerten eine vollständige und damit eindeutige Zugehörigkeit zu diesen linguistischen Werten zugewiesen werden. Diese Modifikation ist als eine Anpassungsmöglichkeit der Modellierung dieser linguistischen Variablen zu interpretieren, eine Notwendigkeit wird mit diesem Vorschlag nicht unterstellt.

⁵⁰⁴ Die Entwicklung der Regelmengen zur Verknüpfung beziehungsweise Aggregation der Bewertungskriterien wird im Rahmen der Erstellung der Regelbasis des Fuzzy-Reglers in Kapitel 6.3.3 beziehungsweise Kapitel 6.3.3.2 beschrieben. Die Frage nach der Wahl geeigneter Operatoren und Inferenzstrategien zur Aggregation und Verknüpfung der Bewertungskriterien wird in Kapitel 6.3.2.2 untersucht.

te *sehr gering*, *gering*, *mittel*, *hoch* und *sehr hoch* mit den jeweiligen Zugehörigkeitsfunktionen modelliert.⁵⁰⁵ Für die linguistischen Variablen *Technologieattraktivität* und *Ressourcenstärke* der zweiten Aggregationsstufe werden die linguistischen Werte *gering*, *mittel* und *hoch* entsprechend des zugrundeliegenden Konzeptes festgelegt. Zur Modellierung der linguistischen Werte werden trapezförmige Zugehörigkeitsfunktionen verwendet, deren typischste Eingangsgrößenwerte als symmetrisch über den Wertebereich verteilte Intervalle angenommen werden sollen, die jeweils 20% der möglichen Eingangsgrößenwerte repräsentieren. Die linguistischen Variablen *Technologieattraktivität* und *Ressourcenstärke* stellen die Ausgangsgrößen der Fuzzy-Technologie-Portfolio-Analyse dar. Abbildung 29 veranschaulicht diese linguistischen Variablen am Beispiel der Technologieattraktivität.

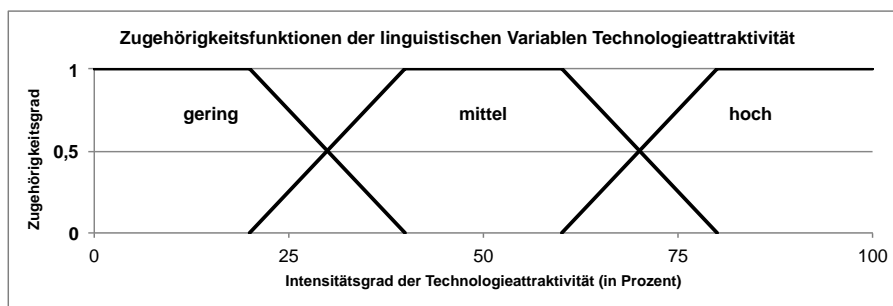


Abbildung 29: Zugehörigkeitsfunktionen der Technologieattraktivität
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die aus den Aggregationsschritten resultierenden unscharfen Ausgangsmengen für die Technologieattraktivität und die Ressourcenstärke können in eine unscharfe Positionierung der betrachteten Technologie in der Technologie-Portfolio-Matrix überführt werden.⁵⁰⁶ Abbildung 30 zeigt schematisch die Funktionsweise der Fuzzy-Technologie-Portfolio-Analyse.

⁵⁰⁵ Vgl. Abbildung 28

⁵⁰⁶ Vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 6.3.3.2

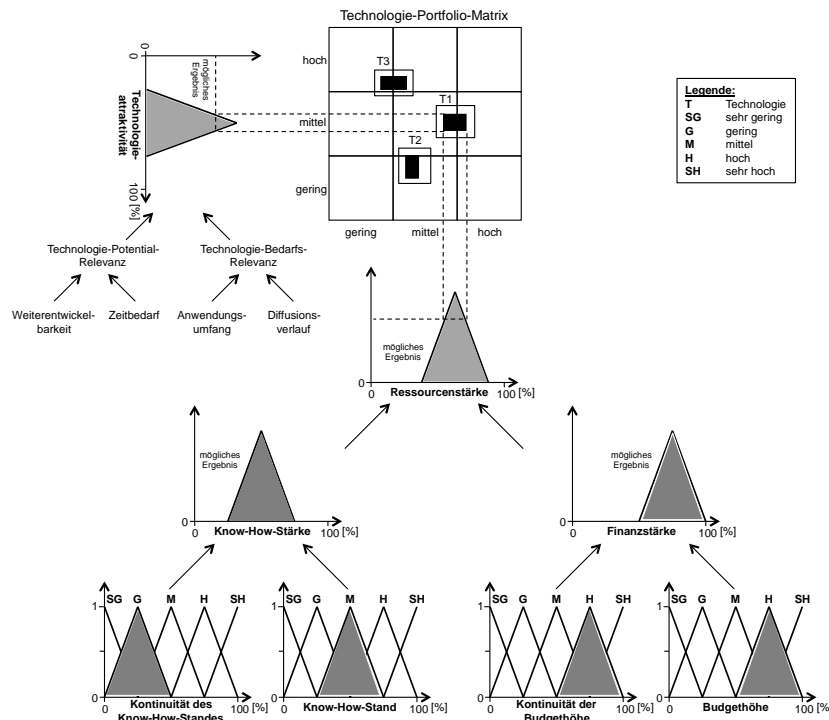


Abbildung 30: Funktionsweise der Fuzzy-Technologie-Portfolio-Analyse
(Quelle: in Anlehnung an Popp (1994), S. 280 und Hauke (1998), S. 166, 170)

Im Rahmen des Technologielebenszyklus-Konzeptes werden Technologien anhand eines idealtypischen, s-förmigen Entwicklungsverlaufes bewertet, der den Zusammenhang zwischen der Durchdringung einer Technologie innerhalb eines Marktes oder Anwendungsgebietes und dem wettbewerbsstrategischen Potential dieser Technologie abbildet. Während der Lebenszyklusphasen einer Technologie, den Phasen Entstehung, Wachstum, Reife und Alter, ändert sich das wettbewerbsstrategische Potential der Technologie. In Abhängigkeit vom ermittelten Ausschöpfungsgrad dieses Wettbewerbspotentials können die Technologien den Technologietypen Schrittmacher-, Schlüssel- oder Basistechnologie zugeordnet werden. Aus der Klassifizierung einer bestimmten Technologie und der Einordnung im Technologielebenszyklus lassen sich schließlich entsprechende technologiestrategische Handlungsempfehlungen ableiten.⁵⁰⁷ Für die Zuordnung einer Technologie zu einer bestimmten Lebenszyklusphase können verschiedene qualitative Indikatoren herangezogen werden.⁵⁰⁸ Abbildung 31 zeigt die zur Positionierung im Technologielebenszyklus korrespondierenden Ausprägungen dieser Indikatoren.

⁵⁰⁷ Vgl. Gerpott (2005), S. 114, Gerybadze (2004), S. 130, Specht; Beckmann; Amelingmeyer (2002), S. 66 und Wolfrum (1991), S. 114

⁵⁰⁸ Vgl. Sommerlatte; Deschamps (1986), S. 53 und Saad et al. (1993), S. 68

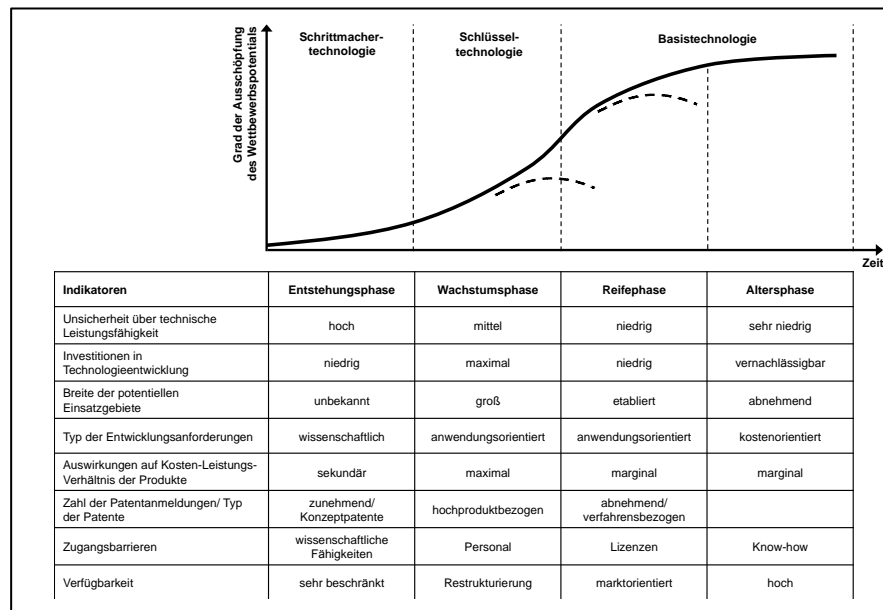


Abbildung 31: Technologielebenszyklus-Konzept

(Quelle: in Anlehnung an Sommerlatte; Deschamps (1986), S. 52, 53, Ernst (1997), S. 109)

Zur Abbildung der Funktionsweise und der Schlussfolgerungsmechanismen des Technologielebenszyklus-Konzeptes in der Wissensbasis des Fuzzy-Reglers werden die dargestellten Indikatoren als linguistische Variablen des Technologielebenszyklus-Konzeptes und die jeweiligen Ausprägungen der Indikatoren als linguistische Werte dieser linguistischen Variablen definiert.⁵⁰⁹ Da sich die linguistischen Werte einiger linguistischen Variablen nicht gemeinsam auf einer Basisvariable abbilden lassen, wird für das Technologielebenszyklus-Konzept ein Ansatz zur Fuzzyifizierung gewählt, bei dem die linguistischen Variablen mit Hilfe von vorgeschalteten Regelmengen direkt auf der Ausgangsgröße des Technologielebenszyklus-Konzeptes abgebildet werden.⁵¹⁰ Eine Bestimmung von Zugehörigkeitsfunktionen für die linguistischen Variablen ist in diesem Zusammenhang nicht erforderlich. Als Ausgangsgröße des Technologielebenszyklus-Konzeptes wird die linguistische Variable *Lebenszyklusphase* mit den linguistischen Werten *Entstehungsphase*, *Wachs-*

⁵⁰⁹ Trotz der in der Literatur genannten Kritikpunkte zum Technologielebenszyklus-Konzept, beispielsweise hinsichtlich der Phasenabgrenzung oder der Trennschärfe der Indikatoren und ihrer Ausprägungen (vgl. Specht; Beckmann; Amelingmeyer (2002), S. 72 - 73 oder auch Wolfrum (1994), S. 113 - 115), erfolgen die Übernahme und Adaption des Technologielebenszyklus-Konzeptes für die Zielstellungen dieser Arbeit ohne ausdrückliche Absicht, etwaige Schwachstellen des vorgestellten Konzeptes zu beheben.

⁵¹⁰ Vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 6.3.3.1

tumsphase, Reifephase und Altersphase definiert.⁵¹¹ Abbildung 32 zeigt den gewählten Ansatz für den Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen dieser linguistischen Werte, bei dem gleichschenklige Dreiecksfunktionen über den Wertebereich der linguistischen Variablen gleichmäßig verteilt und die äußeren Schenkel der Zugehörigkeitsfunktionen der Randmengen entsprechend angepasst wurden.

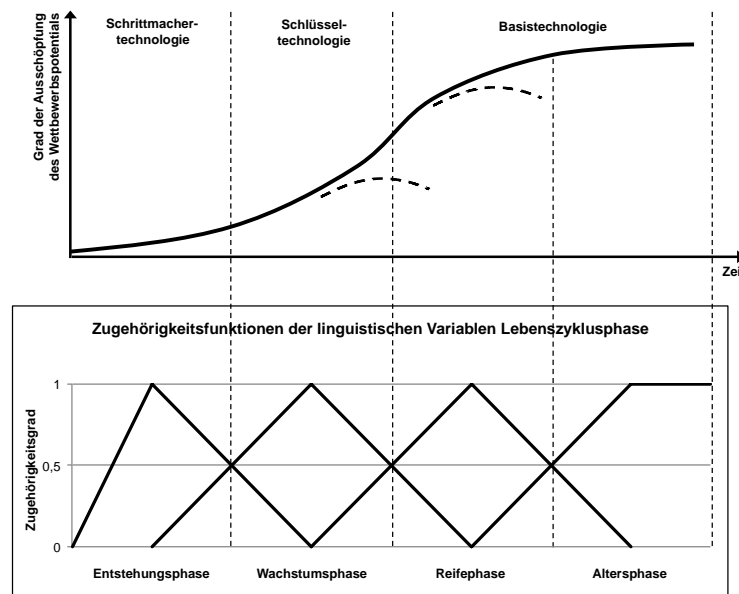


Abbildung 32: Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Variablen Lebenszyklusphase
(Quelle: in Anlehnung an Grienitz (2004), S. 19)

Der Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen trägt dem Sachverhalt Rechnung, dass sich die eindeutige Abgrenzung der Entwicklungsphasen von Technologien beziehungsweise die eindeutige Zuordnung einer Technologie zu einem bestimmten Technologietyp in der Praxis häufig als schwierig erweist. Die Indikatoren können in der Regel nur zu Tendenzaussagen und einer groben Positionsbestimmung der Technologien innerhalb des idealisierten Verlaufs der Lebenszykluskurve beitragen.⁵¹² Anhand der unscharfen Ausgangsmenge

⁵¹¹ Da die Ausgangsgröße aus der Aggregation anderer unscharfer Mengen resultiert, kann für diese linguistische Variable auf die Bestimmung einer Basisvariablen beziehungsweise auf die Festlegung eines konkreten Wertebereiches, über den die linguistischen Werte zu verteilen sind, verzichtet werden. Davon abgesehen, würde die Festlegung eines allgemeingültigen Wertebereiches in diesem Fall große Schwierigkeiten bereiten, da sich die Dauer von Technologielebenszyklen aus verschiedenen Gründen erheblich unterscheiden kann (vgl. beispielsweise Wolfrum (1994), S. 114).

⁵¹² Vgl. Specht; Beckmann; Amelingmeyer (2002), S. 72 - 73, Wolfrum (1994), S. 113 - 115 und Grienitz (2004), S. 18 - 19). Mit Hilfe der Integration der Fuzzy Set Theorie kann

kann eine abschließende Bewertung und Klassifizierung der betrachteten Technologie als Schrittmacher-, Schlüssel- oder Basistechnologie im Rahmen des Fuzzy-Technologielebenszyklus-Konzeptes vorgenommen werden.⁵¹³

Nachdem für die Aufgaben der Informationserfassung und der Informationsbewertung linguistische Variablen, linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen definiert wurden, soll die Gestaltung des Fuzzy-Reglers abschließend noch für die Aufgabe der Informationszusammenführung und -strukturierung beispielhaft fortgesetzt werden. Hierzu wird die Szenario-Analyse in die weiteren Betrachtungen einbezogen. Der im Folgenden kurz dargestellte Ansatz zur Fuzzyifizierung der Szenario-Analyse ist der Literatur entnommen.⁵¹⁴

Mit Hilfe der Szenario-Analyse werden die wesentlichen Einflussgrößen des Unternehmensumfeldes miteinander in Beziehung gesetzt und verschiedene plausible und begründbare Zukunftsbilder, sogenannte Szenarien, in Abhängigkeit von den Ausprägungen der unterschiedlichen Einflussgrößen entwickelt.⁵¹⁵ Die Entwicklung der Szenarien erfolgt durch die Schritte (1) Strukturierung und Definition des Untersuchungsfeldes, (2) Identifikation und Strukturierung von Einflussfaktoren des Unternehmensumfeldes, (3) Ermittlung von Entwicklungstendenzen und kritischer Deskriptoren, (4) Bildung und Auswahl alternativer konsistenter Annahmenbündel, (5) Interpretation der ausgewählten Umfeldszenarien, (6) Einführung und Auswirkungsanalyse signifikanter Störereignisse, (7) Ausarbeiten von Szenarien beziehungsweise Ableiten von Konsequenzen für das Untersuchungsfeld und (8) Konzipieren von Maßnahmen.⁵¹⁶ Die nachfolgend dargestellte Vorgehensweise zur fuzzyregelbasierten Auswahl von Annahmenbündeln und von Rohszenarien unterstützt die zur Entwicklung der Szenarien erforderlichen Entscheidungsprozesse in den oben genannten Schritten (2) bis (5).⁵¹⁷

diese Unschärfe sichtbar gemacht werden und in den Entscheidungsprozessen entsprechend Berücksichtigung finden.

⁵¹³ Vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 6.3.3.1

⁵¹⁴ Vgl. Kratzberg (2009). Weitere Ansätze zur Integration der Fuzzy Set Theorie in die Szenario-Analyse finden sich beispielsweise bei Hazebrouck (1998), Hofmeister (2000), Mißler-Behr (2001) oder Wang; Chang (2001).

⁵¹⁵ Vgl. Reibnitz; Geschka; Seibert (1982), S. 10

⁵¹⁶ Vgl. Geschka; Hammer (1990), S. 317 - 323

⁵¹⁷ Vgl. hierzu und im Folgenden Kratzberg (2009), S. 179 - 195

Innerhalb der fuzzy-regelbasierten Auswahl von Annahmenbündeln werden mit Hilfe einer regelbasierten Relevanzanalyse zunächst die für eine bestimmte Fragestellung relevanten Einflussfaktoren e_i aus einer Menge von Einflussfaktoren E ausgewählt. Hierzu werden die möglichen Einflussfaktoren mit Hilfe von Relevanzpunkten r_i auf einer Skala von $-1 \triangleq$ irrelevant, $0 \triangleq$ relevant und $+1 \triangleq$ zentral durch eine Anzahl M_n von Experten und Managern bewertet. Weiterhin wird je Einflussfaktor die Häufigkeit der Bewertungen aller Experten und Manager mit $\text{anz}_{-1} \triangleq$ Häufigkeit der Bewertungen mit -1 , $\text{anz}_0 \triangleq$ Häufigkeit der Bewertungen mit 0 und $\text{anz}_{+1} \triangleq$ Häufigkeit der Bewertungen mit $+1$ festgehalten. Die Modellierung der Relevanz und der Häufigkeiten $\text{anz}_{n\text{Bew}}$ als linguistische Variablen erfolgt durch die in Abbildung 33 dargestellten linguistischen Werte und Zugehörigkeitsfunktionen.⁵¹⁸

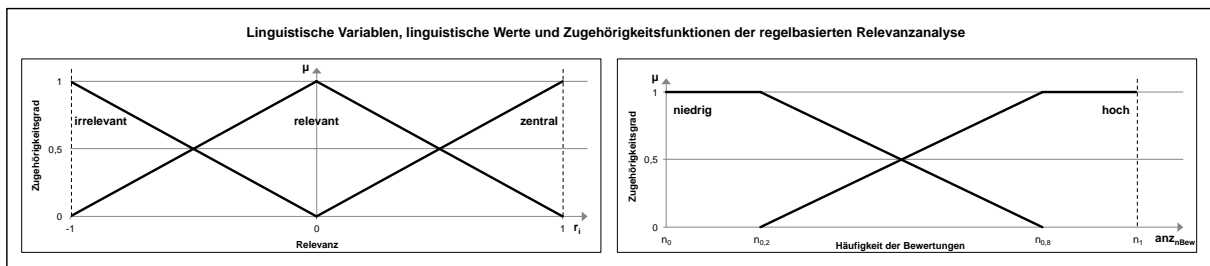


Abbildung 33: Linguistische Variablen, linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen der regelbasierten Relevanzanalyse (Quelle: Kratzberg (2009), S. 181)

Aus den ermittelten Häufigkeiten der Relevanzpunkte je Einflussfaktor $\text{anz}_{i\text{Bew}}$ wird mit Hilfe einer Regelbasis eine abschließende Relevanzbewertung r_i^{res} je Einflussfaktor vorgenommen. Das Ergebnis der regelbasierten Relevanzanalyse sind die für den Untersuchungsgegenstand als relevant betrachteten Einflussfaktoren, die mit Hilfe von Annahmen über deren zukünftige Entwicklung zu Deskriptoren für die Szenario-Analyse weiterentwickelt werden können.⁵¹⁹

⁵¹⁸ Die Zugehörigkeit der Häufigkeiten anz_{-1} , anz_0 und anz_{+1} zu den linguistischen Werten *niedrig* und *hoch* ist in Abhängigkeit von der Gesamtanzahl n der beteiligten Experten und Manager definiert. Liegt die Häufigkeit der Bewertungen eines Einflussfaktors unter 20 Prozent beziehungsweise über 80 Prozent der Gesamtanzahl der bewertenden Personen, wird diese als niedrig beziehungsweise hoch betrachtet.

⁵¹⁹ Die zur zusammenfassenden Relevanzbewertung r_i^{res} der Häufigkeiten der jeweiligen Relevanzpunkte $\text{anz}_{i\text{Bew}}$ eines Einflussfaktors erforderliche Regelbasis und die verwendeten Fuzzy-Operatoren werden in Kapitel 6.3.3.3 dargestellt.

Im nächsten Schritt erfolgt die Bündelung der Deskriptorenannahmen zu Annahmenpaaren, die jeweils hinsichtlich ihrer Konsistenz zu überprüfen sind, und anschließend die Bündelung der Deskriptorenpaare zu Annahmenbündeln, deren Möglichkeit des Eintretens bestimmt werden muss. Hierzu werden zunächst alle Deskriptorenannahmen in einer Konsistenzmatrix gegenübergestellt und die jeweiligen Annahmenpaare p_q durch die Anzahl M_n von Experten und Managern mit Hilfe von Konsistenzpunkten k_q auf einer Skala von $-1 \triangleq$ inkonsistent, $0 \triangleq$ neutral und $1 \triangleq$ konsistent bewertet.⁵²⁰ Für alle Annahmenpaare werden über alle Konsistenzmatrizen die Anzahl der inkonsistenten Bewertungen mit anz_{q-1} , die Anzahl der neutralen Bewertungen mit anz_{q0} und die Anzahl der konsistenten Bewertungen mit anz_{q+1} erfasst. Die Konsistenz und die Häufigkeit der Konsistenzpunkte anz_{pBew} können durch die in Abbildung 34 dargestellten linguistischen Werte und Zugehörigkeitsfunktionen als linguistische Variablen modelliert werden.⁵²¹

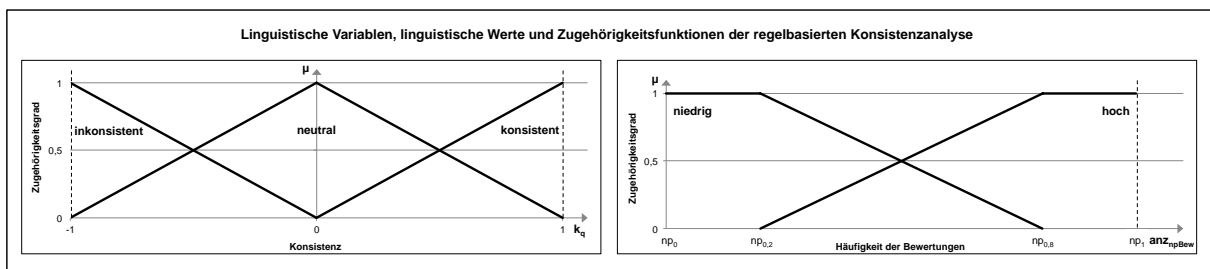


Abbildung 34: Linguistische Variablen, linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen der regelbasierten Konsistenzanalyse (Quelle: Kratzberg (2009), S. 185)

Nach der Konsistenzbewertung der Annahmenpaare erfolgt die Bildung aller möglichen Kombinationen von Annahmenpaaren zu Annahmenbündeln b_p .⁵²² Für jedes Annahmenbündel wird die Häufigkeit der Konsistenzpunkte anz_{pBew} durch Addition aller Häufigkeiten der in dem Annahmenbündel enthaltenen An-

⁵²⁰ Die Menge der Annahmenpaare ist abhängig von der Anzahl der Deskriptoren d_j und der Anzahl der getroffenen Annahmen je Deskriptor. Ergebnis der Bewertungen sind n Konsistenzmatrizen mit jeweils q Konsistenzpunkten.

⁵²¹ Die Zugehörigkeit der Häufigkeiten der Konsistenzpunkte anz_{pBew} zu den linguistischen Werten *niedrig* und *hoch* ist von den ermittelten absoluten Häufigkeiten abhängig. Liegt die Häufigkeit der Konsistenzpunkte eines Annahmenpaares unter 20 Prozent beziehungsweise über 80 Prozent der Gesamtanzahl der bewertenden Personen, wird diese als niedrig beziehungsweise hoch betrachtet. Die erforderliche Regelbasis zur Ermittlung der Konsistenz der Annahmenbündel wird in Kapitel 6.3.3.3 dargestellt.

⁵²² Durch ein Vorselektionskriterium ε kann die Anzahl der Kombinationen reduziert werden, beispielsweise durch $\varepsilon \leq anz_{q-1}$ mit $\varepsilon = n/5$ und n = Anzahl der Experten und Manager.

nahmenpaare ermittelt. Mit Hilfe einer Regelbasis erfolgt dann die abschließende Bewertung der Konsistenz der Annahmenbündel, die schließlich zur Identifikation sowohl relevanter als auch konsistenter Annahmebündel b_p^{kon} führt.⁵²³ Um aus diesen Annahmenbündeln diejenigen zu identifizieren, die auch hinsichtlich der Eintrittsmöglichkeit hoch zu bewerten sind, ist im Anschluss eine regelbasierte Possibilitäts- beziehungsweise Möglichkeitsanalyse durchzuführen.

Innerhalb der regelbasierten Möglichkeitsanalyse werden zunächst alle Deskriptorenausprägungen aus den zuvor ermittelten relevanten und konsistenten Annahmenbündeln durch die Anzahl M_n von Experten und Managern hinsichtlich der Möglichkeit ihres Eintretens mit Hilfe von Möglichkeitspunkten $\text{poss}_{j\text{Bew}}$ auf einer Skala mit $-1 \triangleq$ nicht möglich, $0 \triangleq$ eingeschränkt und $1 \triangleq$ uneingeschränkt bewertet.⁵²⁴ Für alle betrachteten Deskriptorenausprägungen werden die Anzahl der jeweiligen Bewertungen durch die Häufigkeiten anz_{-1} der als unmöglich bewerteten, anz_0 der als eingeschränkt möglich bewerteten und anz_{+1} der als uneingeschränkt möglich bewerteten Deskriptorenausprägungen erfasst. Für die aus der Konsistenzanalyse hervorgegangenen Annahmenbündel b_p werden anschließend die Häufigkeiten $\text{anz}_{p\text{Bew}}$ durch Summierung der Häufigkeiten $\text{anz}_{j\text{Bew}}$ jeder im Annahmenbündel enthaltenen Deskriptorenausprägungen ermittelt. Die Möglichkeit und die Häufigkeit der Deskriptorenausprägungen anz_{p_x} werden als linguistische Variablen durch die in Abbildung 35 dargestellten linguistischen Werte und Zugehörigkeitsfunktionen modelliert.⁵²⁵

⁵²³ Die zur abschließenden Konsistenzbewertung eines Annahmenbündels erforderliche Regelbasis sowie der verwendete Fuzzy-Operator und die eingesetzte Defuzzifizierungsstrategie zur Ermittlung eines scharfen Konsistenzwertes k_p^{res} je Annahmebündel werden in Kapitel 6.3.3.3 dargestellt.

⁵²⁴ Aus diesem Bewertungsschritt gehen n Möglichkeitsbewertungen poss_{j_x} je Deskriptorenausprägung d_{j_x} hervor.

⁵²⁵ Der konkrete Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen für die Häufigkeiten anz_{p_x} ist von der Anzahl der betrachteten Deskriptorenausprägungen d_{j_x} und der Anzahl m_n der bewertenden Experten und Manager abhängig.

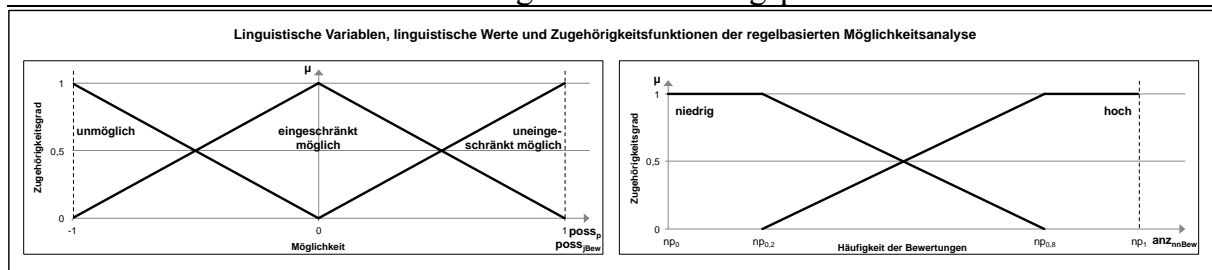


Abbildung 35: Linguistische Variablen, linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen der regelbasierten Möglichkeitsanalyse (Quelle: Kratzberg (2009), S. 187)

Mit Hilfe einer Regelbasis werden die Häufigkeiten anz_{px} zu einer Gesamtbewertung der Möglichkeit eines Annahmenbündels $Poss_p^{res}$ zusammengefasst. Anhand der vorliegenden Gesamtbewertungen der relevanten und konsistenten Annahmenbündel können schließlich die am möglichsten erscheinenden Annahmenbündel identifiziert werden.⁵²⁶

Um der wünschenswerten Eigenschaft der Unterschiedlichkeit und Repräsentativität von Szenarien⁵²⁷ gerecht zu werden, ist zur endgültigen Auswahl von Rohszenarien eine regelbasierte Clusteranalyse für die als relevant, konsistent und möglich bewerteten Annahmenbündel durchzuführen.⁵²⁸ Ziel der Clusteranalyse ist die Bildung geeigneter Cluster, um aus der Menge der Annahmenbündel möglichst unterschiedliche und repräsentative Rohszenarien für die anschließende Entwicklung von Szenarien zu identifizieren. Hierzu werden die aus der Möglichkeitsanalyse hervorgehenden Annahmenbündel b_p in einer Vergleichsmatrix gegenübergestellt und die Anzahl \ddot{A} der gleichen Deskriptorenausprägungen sowie die Anzahl U der ungleichen Deskriptorenausprägungen ermittelt. Zur regelbasierten Ermittlung von Distanzwerten DW für die Annahmenbündelpaare aus der Vergleichsmatrix anhand der Ähnlichkeits- und Unähnlichkeitswerte \ddot{A} beziehungsweise U werden die entsprechenden lingu-

⁵²⁶ Die zur abschließenden Möglichkeitsbewertung eines Annahmenbündels erforderliche Regelbasis sowie der verwendete Fuzzy-Operator und die eingesetzte Defuzzifizierungsstrategie zur Ermittlung der Möglichkeitsbewertungen je Annahmenbündel werden in Kapitel 6.3.3.3 dargestellt.

⁵²⁷ Zu den wünschenswerten Eigenschaften eines Szenarios gehören die Eigenschaften Konsistenz, Stabilität und Robustheit sowie Unterschiedlichkeit und Repräsentativität (vgl. Mißler-Behr (2001) und die dort angegebene Literatur).

⁵²⁸ Durch die Identifikation von Clusterzentren oder der Auswahl von geeigneten Repräsentanten kann mit der Clusteranalyse zusätzlich den wünschenswerten Eigenschaften der Stabilität und Robustheit der Szenarien Rechnung getragen werden.

istischen Variablen durch die in Abbildung 36 dargestellten linguistischen Werte und Zugehörigkeitsfunktionen modelliert.⁵²⁹

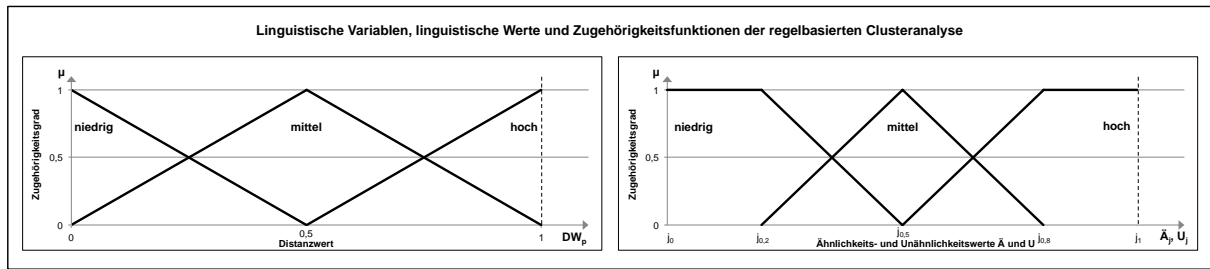


Abbildung 36: Linguistische Variablen, linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen der regelbasierten Clusteranalyse (Quelle: Kratzberg (2009), S. 191)

Die resultierenden Distanzwerte DW^{res} je Annahmenbündelpaar bilden den Ausgangspunkt für die Clusterbildung.⁵³⁰ Zunächst werden die zwei Annahmenbündel mit dem niedrigsten Distanzwert zu einem ersten Cluster zusammengefasst. In den Folgeschritten zur Clusterbildung werden Distanzwerte zwischen den gebildeten Clustern c_i und den verbleibenden Annahmenbündeln b_p berechnet. Je nach gewähltem Berechnungsverfahren werden anhand der niedrigsten Distanzwerte neue Cluster gebildet oder Annahmenbündel in bestehende Cluster aufgenommen.⁵³¹ Die Clusterbildung wird fortgeführt, bis die vorgesehene Anzahl zu berücksichtigender Szenarien erreicht beziehungsweise eine entsprechende Anzahl von Clustern, in der Regel zwei bis sechs, gebildet wurde. Abschließend ist für jedes Cluster c_i ein als Repräsentant geeignetes Annahmenbündel b_p^* auszuwählen.⁵³² Diese stellen als Rohszenarien den Ausgangspunkt für die Ausformulierung der Szenarien im Raum der möglichen zukünftigen Entwicklungen dar.

⁵²⁹ Die Zugehörigkeitsfunktionen sind hierbei von der Anzahl der Deskriptoren d_j pro Annahmenbündel abhängig (vgl. Kratzberg (2009), S. 191).

⁵³⁰ Da die weiteren Schritte der Fuzzy-Szenario-Analyse für diese Arbeit nicht relevant sind, werden diese aus Gründen der Vollständigkeit nur grob dargestellt und für detaillierte Darstellungen auf die Literatur verwiesen (vgl. beispielsweise Kratzberg (2009)).

⁵³¹ Wie bei der scharfen Clusteranalyse kann zwischen dem Complete-Linkage-Verfahren, dem Single-Linkage-Verfahren und dem Average-Linkage-Verfahren gewählt werden. Der vorgestellte Ansatz der regelbasierten Clusteranalyse nutzt das Average-Linkage-Verfahren mit $DW_c = x \cdot DW_{bp} + y \cdot DW_{bq}$ und $x = y = 0,5$.

⁵³² Im dargestellten Ansatz wird hierzu bei Clustern mit mehr als zwei Annahmenbündeln dasjenige Annahmenbündel mit den geringsten durchschnittlichen Distanzwerten zu allen anderen Annahmenbündeln des Clusters gewählt, bei Clustern mit genau 2 Annahmenbündeln wird dasjenige Annahmenbündel mit dem höchsten durchschnittlichen Distanzwert zu allen anderen Clustern gewählt.

6.3.2.2 Bestimmung der Fuzzy-Operatoren und Inferenzstrategien

Die Frage nach einem geeigneten Fuzzy-Operator für einen bestimmten Anwendungsfall muss unter Berücksichtigung des gesamten Verarbeitungsmodells nach inhaltlichen, formalen und pragmatischen Aspekten beantwortet werden. Verschiedene Untersuchungen gehen zwar der Frage nach der Angemessenheit von Fuzzy-Operatoren zur Modellierung bestimmter Fragestellungen nach⁵³³, eine allgemeingültige Aussage über die Eignung der Fuzzy-Operatoren geht daraus allerdings nicht hervor. Die Auswahl und die Validierung von Fuzzy-Operatoren stellen ein komplexes Problem dar, für das bisher keine befriedigenden Lösungen existieren.⁵³⁴ Im Rahmen dieser Arbeit soll die Identifikation geeigneter Fuzzy-Operatoren zur Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess im Folgenden anhand der bereits vorgestellten Kriterien axiomatische Stärke, reale Angemessenheit, Anpassungsfähigkeit, rechnerische Effizienz, Kompensation, Aggregationseigenschaften und erforderliches Skalenniveau durchgeführt werden.⁵³⁵

Hinsichtlich des Kriteriums der *axiomatischen Stärke* werden die Gesetze der klassischen Mengen- und Aussagenalgebra, bis auf das Kontradiktionsgesetz, nur vom Minimum- und Maximum-Operator unter den Vereinigungs- und Durchschnittsoperatoren vollständig erfüllt. Die Klasse der kompensatorischen Operatoren weist grundsätzlich eher ungünstige algebraische Eigenschaften auf.⁵³⁶ Die Orientierung der Auswahl eines Fuzzy-Operators am Kriterium der *realen Angemessenheit* lässt sich für den Anwendungsfall der vorliegenden Arbeit nur bedingt vornehmen. Einerseits stehen grundsätzliche empirische Untersuchungen mit abgesicherten Aussagen nicht zur Verfügung, andererseits kann die tatsächliche reale Angemessenheit eines Operators erst durch empirische Untersuchungen am konkreten Anwendungsbeispiel ermittelt wer-

⁵³³ Vgl. beispielsweise Rommelfanger; Unterharnscheidt (1988) oder Zimmermann; Zysno (1980).

⁵³⁴ Vgl. Biewer (1997), S. 105, 121, 125

⁵³⁵ Vgl. Kapitel 4.1.3

⁵³⁶ Vgl. Biewer (1997), S. 87, 107. Der Stellenwert des Kriteriums axiomatische Stärke und die Notwendigkeit der Erfüllung einzelner algebraischer Gesetze werden in der Literatur unterschiedlich bewertet. Zudem existieren unter bestimmten Bedingungen Möglichkeiten, fehlende algebraische Eigenschaften zu kompensieren (vgl. ebenda, S. 105 - 109).

den.⁵³⁷ Die *Anpassungsfähigkeit* eines einzelnen Operators erweist sich nur unter der Bedingung, dass möglichst nur ein oder wenige Operatoren Anwendung finden sollen, als relevant. Das *Aggregationsverhalten* der Operatoren ist grundsätzlich kontextabhängig, weshalb eine Anpassungsfähigkeit, beispielsweise durch Parametrisierung von Operatoren, generell vorteilhaft ist. Hingegen ist prinzipiell auch der Einsatz mehrerer, den unterschiedlichen Anforderungen angemessener Operatoren möglich, zumal sich bei parametrisierten Operatoren zusätzlich die Frage nach der Bestimmung eines geeigneten Parameters für einen bestimmten Anwendungsfall stellt.⁵³⁸ Aus diesem Grund wird das Kriterium hier als eher unbedeutend angesehen. Auch der *rechnerischen Effizienz* wird als Kriterium zur Auswahl eines Operators eine untergeordnete Bedeutung beigemessen, da für das vorliegende Fuzzy-System weniger Echtzeitberechnungen als eine hohe Güte bei der Abbildung und Verarbeitung von Informationen wünschenswert sind.⁵³⁹ Bezüglich der notwendigen *Kompensationseigenschaften* der für den Anwendungszweck dieser Arbeit auszuwählenden Operatoren deuten verschiedene empirische Untersuchungen⁵⁴⁰ darauf hin, dass in menschlichen Entscheidungsprozessen häufig kompensatorische Effekte auftreten, bei denen beispielsweise eine nicht vollständig befriedigende Eigenschaft eines Objektes durch eine weitere, besonders gut ausgeprägte Eigenschaft des Objektes kompensiert werden kann. Da der nicht-kompensatorische Minimum-Operator und der voll-kompensatorische Maximum-Operator zur Modellierung dieser Eigenschaften nicht geeignet sind, erscheint der Einsatz kompensatorischer Operatoren hinsichtlich des Kriteriums Kompensation für den vorliegenden Anwendungsfall adäquater.⁵⁴¹ Die *Aggregationseigenschaften* von Operatoren sind insbesondere bei einer hohen Anzahl von zu kombinierenden unscharfen Mengen, wovon aufgrund der Komplexität der Problemstellung auch für den vorliegenden Anwendungsfall ausgegangen werden kann, von Bedeutung. Bei mehrfach hintereinander erfolgenden Durchschnitts- beziehungsweise Vereinigungsbildungen würde sich bei einigen Operatoren mit jeder zusätzlich aggregierten unscharfen Menge

⁵³⁷ Vgl. Zimmermann (1993), S. 25

⁵³⁸ Vgl. Biewer (1997), S. 108, 115

⁵³⁹ Vgl. Zimmermann (1993), S. 25 - 26 und Biewer (1997), S. 108

⁵⁴⁰ Vgl. beispielsweise Rommelfanger; Unterharnscheidt (1988) oder Zimmermann; Zysno (1980)

⁵⁴¹ Vgl. Biewer (1997), S. 104, 108 - 109 und Zimmermann (1993), S. 26

der resultierende Zugehörigkeitsgrad verkleinern beziehungsweise vergrößern und gegen null beziehungsweise gegen eins tendieren. Für diesen Anwendungsfall erscheint diese Eigenschaft von Operatoren nicht adäquat. Eine entsprechende Stabilität der Zugehörigkeitsgrade gewähren neben dem Minimum- und dem Maximum-Operator nur die kompensatorischen Operatoren.⁵⁴² Das *Skalenniveau* der Zugehörigkeitsfunktionen ist für die mathematische Zulässigkeit von Operatoren und damit für die Auswahl der Operatoren für den vorliegenden Anwendungsfall von entscheidender Bedeutung. Grundsätzlich ist derjenige Operator zu wählen, der das niedrigste Skalenniveau erfordert, ohne dabei jedoch mathematisch unzulässig zu werden.⁵⁴³ Zugehörigkeitsfunktionen werden zwar standardmäßig auf einem Intervallskalenniveau definiert, andererseits liegt menschliches Wissen häufig nur auf Ordinalskalenniveau vor, für welches nur der Minimum- und der Maximum-Operator zulässig sind.⁵⁴⁴

Unter Berücksichtigung der dargestellten Ausführungen zu den einzelnen Kriterien und in Verbindung mit den Zielstellungen und gegebenen Rahmenbedingungen sollen für diese Arbeit aus den im Folgenden genannten Gründen der Minimum- und der Maximum-Operator für die Definition der Struktur des Fuzzy-Reglers als Operatoren ausgewählt werden. Aufgrund der Zielsetzung, mit der vorliegenden Arbeit ein möglichst allgemeingültiges, einfach zu handhabendes und leicht zu adaptierendes Konzept für einen fuzzy-basierten Technologiefrühaufklärungsprozess zu entwickeln, stellt die Verwendung des Minimum- beziehungsweise Maximum-Operators eine zweckmäßige Ausgangsbasis dar. Die dargestellten Vorteile der kompensatorischen Operatoren werden zunächst durch die fehlende Erfüllung des Assoziativgesetzes eingeschränkt. Zwar besteht die Möglichkeit, bei einer vorher bekannten Anzahl zu aggregierender unscharfer Mengen die Erfüllung des Assoziativgesetzes für nicht-assoziative Operatoren durch Erweiterungen bei der Implementierung der Operatoren zu berücksichtigen.⁵⁴⁵ Aufgrund der mit der Technologiefrühaufklärung verbundenen Komplexität der Anwendungssituation und der ange-

⁵⁴² Vgl. Biewer (1997), S. 107 und Zimmermann (1993), S. 26

⁵⁴³ Vgl. Zimmermann (1993), S. 27

⁵⁴⁴ Vgl. Biewer (1997), S. 107 - 108

⁵⁴⁵ Vgl. beispielsweise Tilli (1991), S. 68 und Meyer-Fujara; Puppe; Wachsmuth (1993), S. 46 - 47

streben Flexibilität des Fuzzy-Reglers kann die Erfüllung dieser Voraussetzungen jedoch nicht gewährleistet werden. Hinsichtlich des Kriteriums Kompensation sind, obwohl einzelne Untersuchungen zeigen, dass die Modellierung menschlicher Entscheidungen in bestimmten Anwendungssituationen durch kompensatorische Operatoren adäquater vorgenommen werden kann, die Ergebnisse dieser Untersuchungen nicht verallgemeinerbar.⁵⁴⁶ Zudem müssten die Angemessenheit der Spannweite beziehungsweise die Vereinbarkeit der Kompensation mit dem erforderlichen Grad der Kompensation für einen gegebenen Anwendungsfall zunächst untersucht und geeignete Parameterwerte identifiziert werden. Um den häufig nur auf Ordinalskalenniveau vorliegenden Informationen innerhalb der Technologiefrühaufklärung gerecht zu werden und die grundsätzliche Flexibilität und Allgemeingültigkeit des Ansatzes zu gewährleisten, führen auch die mit dem Kriterium des erforderlichen Skalenniveaus eines Operators verbundenen Einschränkungen zu der Entscheidung, diesen Ansatz mit Hilfe des Minimum- und des Maximum-Operators zu gestalten. Die mathematischen Eigenschaften des Minimum- und des Maximum-Operators vereinfachen zudem zunächst die Erstellung und Pflege der Wissensbasis, da fehlende mathematische Eigenschaften anderer Operatoren nicht durch komplexere operatorspezifische Anpassungen der Regelmengen realisiert werden müssen. In diesem Zusammenhang soll grundsätzlich eine Max-Min-Inferenzstrategie für den Fuzzy-Regler vorgesehen werden. Das bedeutet, für die Aggregation der Elementaraussagen der Prämissen der Regeln und die Aktivierung der Regeln der Wissensbasis wird der Minimum-Operator gewählt, für die Akkumulation der Handlungsempfehlungen aller aktivierten Regeln zu einem resultierenden Handlungsvorschlag aller Regeln der Maximum-Operator.⁵⁴⁷ Im Rahmen der Adaption und Weiterentwicklung dieses Ansatzes für einen spezifischen Anwendungsfall und der Validierung des Reglerverhaltens bietet dieser Ansatz einen flexiblen und transparenten Ausgangspunkt für die situationsspezifische Anpassung durch andere, gegebenenfalls adäquatere Operatoren beziehungsweise Inferenzstrategien.

6.3.2.3 Bestimmung der Defuzzifizierungsmethoden

⁵⁴⁶ Vgl. Biewer (1997), S. 118

⁵⁴⁷ Daraus folgt, dass die Gestaltung des WENN-Teils der Regeln ausschließlich durch UND-Beziehungen der Elementaraussagen der Prämissen einer Regel erfolgen kann.

Sollen die unscharfen Ausgangsmengen des Inferenzschrittes in scharfe Ausgangsgrößen überführt werden, ist für den Fuzzy-Regler eine adäquate Defuzzifizierungsstrategie festzulegen. Hierfür stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Systematische Vorgehensweisen zur Auswahl einer optimalen Defuzzifizierungsmethode für eine spezifische Anwendungssituation existieren nicht. Bei entscheidungsunterstützenden Systemen ist die Auswahl insbesondere davon abhängig, ob eher ein Kompromiss oder eher die plausibelste Lösung angemessen erscheint.⁵⁴⁸ Zu den Defuzzifizierungsmethoden, die den besten Kompromiss bilden, zählen beispielsweise die Schwerpunkt-Methode und die Maximum-Schwerpunkt-Methode. Die plausibelste Lösung ermitteln beispielsweise die Maximum-Mittelwert-Methode und die Maximum-Methode.⁵⁴⁹ Jede der Defuzzifizierungsmethoden hat ihre speziellen Vor- und Nachteile, deren Auswirkungen auf den zu bildenden scharfen Ausgangswert bei der Auswahl beachtet werden müssen, um unplausible Ergebnisse, die nicht mit der menschlichen Intuition übereinstimmen, zu vermeiden. Beispielsweise haben bei der Schwerpunktmethod die linguistischen Werte einer linguistischen Variablen mit großen Flächen, trotz gleichen Aktivierungsgrades, einen wesentlich höheren Einfluss auf das Ergebnis. Weiterhin ist der scharfe Ausgangswert bei der Schwerpunktmethod für den Fall, dass nur eine Regel aktiviert ist, bei einer symmetrischen unscharfen Ausgangsmenge vom Aktivierungsgrad der Regel unabhängig. Zudem ist die Schwerpunktberechnung eine vergleichsweise aufwändige Berechnungsmethode.⁵⁵⁰

Für die Gestaltung des Fuzzy-Reglers im Rahmen dieser Arbeit stellt sich hinsichtlich der Auswahl einer Defuzzifizierungsmethode die Frage nach der grundsätzlichen Notwendigkeit der Defuzzifizierung. Aus der Inferenz gehen die erfassten und weiterverarbeiteten unscharfen Informationen als unscharfe Menge beziehungsweise als Wert einer linguistischen Variablen hervor, zum Beispiel als sprachlicher Ausdruck in der Form „ziemlich hoch, aber auch noch etwas mittel“ oder als Zahlenwert in der Form „hoch zum Grad 0,7 und mittel

⁵⁴⁸ Vgl. Altrock (1993), S. 171

⁵⁴⁹ Vgl. Börcsök (2000), S. 112 - 115 und Altrock (1993), S. 169 sowie die Ausführungen zu den genannten Defuzzifizierungsmethoden in Kapitel 6.2.1

⁵⁵⁰ Vgl. hierzu und zu weiteren Vor- und Nachteilen beziehungsweise Eigenschaften der einzelnen Defuzzifizierungsmethoden Kahlert; Franck (1994), S. 89 - 104, Altrock (1993), S. 164 - 172, Biewer (1997), S. 388 - 391 oder Kiendl (1997), S. 174 - 181

zum Grad 0,3“. Für die Regelung technischer Prozesse muss diese unscharfe Menge in eine technische Größe beziehungsweise einen konkreten Stellwert umgewandelt werden.⁵⁵¹ Mit dieser Umwandlung ist in der Regel eine Reduktion von Informationen verbunden.⁵⁵² Die Zielstellung dieser Arbeit besteht aber gerade darin, der gegebenen Unschärfe und Unsicherheit der Informationen innerhalb der Technologiefrühaufklärung gerecht zu werden und diese systematisch und durchgängig im Technologiefrühaufklärungsprozess zu berücksichtigen, informationserhaltend zu verarbeiten und in die Entscheidungsvorbereitungen zu integrieren, um die Entscheidungsgrundlagen der Technologiefrühaufklärung zu verbessern. In diesem Zusammenhang erscheint es fraglich, den Informationsgehalt der unscharfen Ausgangsmengen durch Defuzzifizierung auf den besten Kompromiss oder die plausibelste Lösung vor der Phase der Entscheidungsfindung zu reduzieren.⁵⁵³ Gegebenenfalls entscheidungsrelevante Informationen könnten den Entscheidungsträgern durch die Defuzzifizierung unzweckmäßig vorenthalten werden.⁵⁵⁴ Wie am Beispiel der Technologie-Portfolio-Analyse gezeigt wurde, kann die Unschärfe der Inferenzergebnisse bei visualisierenden Methoden und Instrumenten auf einfache Weise sichtbar gemacht werden.⁵⁵⁵ Derartige Visualisierungen unscharfer Informationen und Zusammenhänge können als Entscheidungsgrundlage ohne vorhergehende Defuzzifizierung innerhalb der Entscheidungsfindung genutzt

⁵⁵¹ Vgl. Kruse; Gebhardt; Klawonn (1993), S. 173 und Biewer (1997), S. 388

⁵⁵² Die Defuzzifizierung stellt aus mathematischer Sicht die nicht eindeutige Abbildung einer linguistischen Variable auf eine reelle Zahl dar, weil unterschiedliche Werte einer linguistischen Variable auf die gleiche reelle Zahl abgebildet werden können (vgl. Altrock (1993), S. 171 - 172).

⁵⁵³ Die Phasen der *Entscheidungsvorbereitung* sowie der *Bewertung und Entscheidung* sind nicht mehr Bestandteil des Fuzzy-Reglers und bilden im Ansatz dieser Arbeit die Regelstrecke des Technologiefrühaufklärungsprozesses ab (vgl. Abbildung 22).

⁵⁵⁴ Inwieweit durch die Konzepte der Fuzzy Set Theorie der Entscheidungsfindungsprozess selbst unterstützt oder die Verknüpfung mit den Phasen der Entscheidungsfindung ausgestaltet werden kann, ist nicht Gegenstand dieser Arbeit. Unter der Annahme, dass die kognitiven Fähigkeiten des Menschen bei entsprechender Präsentation der unscharfen Ausgangsmengen, beispielsweise in Form von Zugehörigkeitsfunktionen, Funktionsgleichungen, Zugehörigkeitsgraden oder linguistischen Werten, im Vergleich zu den Defuzzifizierungsmethoden eine adäquatere Interpretation der unscharfen Ausgangsmengen ermöglichen, sollten die Inferenzergebnisse vorzugsweise in unscharfer Form in die Regelstrecke eingehen.

⁵⁵⁵ Vgl. Abbildung 30

werden.⁵⁵⁶ Um einen unnötigen Informationsverlust zu vermeiden, sollte eine Defuzzifizierung der unscharfen Ausgangsmengen nur erfolgen, falls eine unscharfe Weiterverarbeitung der Informationen nicht möglich oder nicht sinnvoll ist.⁵⁵⁷ In Abhängigkeit davon, ob eher ein Kompromiss oder eher die plausibelste Lösung bei der Interpretation des Inferenzergebnisses in einer bestimmten Situation angemessen ist, erscheinen die Schwerpunkt-Maximum-Methode beziehungsweise die Maximum-Mittelwert-Methode wegen der guten Übereinstimmung mit der menschlichen Intuition und des niedrigen Rechenaufwandes für diesen Fall als grundsätzlich geeignet.⁵⁵⁸ Die reale Angemessenheit einer Defuzzifizierungsmethode für einen bestimmten Anwendungsfall, insbesondere auch im Zusammenwirken mit unterschiedlichen Zugehörigkeitsfunktionen, Fuzzy-Operatoren und Inferenzstrategien, kann erst durch Überprüfung des tatsächlichen Reglerverhaltens festgestellt werden.⁵⁵⁹

6.3.3 Erstellung der Regelbasis des Fuzzy-Reglers

Die Regeln der Regelbasis⁵⁶⁰ beschreiben die Zusammenhänge zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen eines Fuzzy-Systems in Form von WENN-DANN-Regeln.⁵⁶¹ Das Wissen über diese Zusammenhänge kann zum Beispiel durch (1) Experteninterviews, (2) Expertenbeobachtung, Prozessdatenerfassung und Nachbildung des Expertenverhaltens durch Ableitung von Regeln aus den Prozessdaten, (3) Ableitung aus einem Modell beziehungsweise Verallgemeinerung klassischer Regelstrategien oder (4) selbstlernende Fuzzy-Regler er-

⁵⁵⁶ Die Möglichkeit der Visualisierung unscharfer Informationen bieten beispielsweise auch das Technologielebenszyklus-Konzept oder das Technologie-Roadmapping.

⁵⁵⁷ Dies könnte beispielsweise der Fall sein, wenn die Fuzzifizierung der eingesetzten Instrumente und Methoden nicht möglich ist oder gegebenenfalls durch eine scharfe Methoden und Instrumente rechtfertigende Anwendungssituation nicht erforderlich ist.

⁵⁵⁸ Vgl. Altrock (1993), S. 169

⁵⁵⁹ Vgl. Kiendl (1997), S. 174 und Kahlert; Franck (1994), S. 169, 171

⁵⁶⁰ Aus systemarchitektonischer Sicht kann die Wissensbasis wissensbasierter Systeme in eine Faktenbasis und eine Regelbasis unterteilt werden. Die Faktenbasis enthält eine Menge formalisierter Aussagen über die Eigenschaften von Objekten. Die Regelbasis umfasst die Menge formalisierter Konditionalaussagen beziehungsweise Regeln (vgl. Biewer (1997), S. 21, 415).

⁵⁶¹ Vgl. Altrock (1993), S. 162 und Kiendl (1997), S. 138

langt werden.⁵⁶² Die Eingangsgrößen des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess stellen die innerhalb der Hauptaufgabe der Informationserfassung generierten Informationen dar. Die Ausgangsgrößen ergeben sich durch Weiterverarbeitung dieser Informationen innerhalb der Hauptaufgaben der Informationsbewertung beziehungsweise der Informationszusammenführung und -strukturierung in Abhängigkeit von den eingesetzten Methoden und Instrumenten. Zur Ableitung der Regeln und zur Entwicklung der Regelbasis wird daher zunächst das in den Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen der Methoden und Instrumente enthaltene Expertenwissen genutzt, um die Zusammenhänge zwischen den Ein- und Ausgangsgrößen abzubilden.⁵⁶³ Zur Formulierung der Regelmengen werden nur normalisierte Fuzzy-Regeln, bei denen ausschließlich der UND-Operator in der Prämisse der Regel zulässig ist, verwendet. Damit ist zwar einerseits verbunden, dass zur Abbildung eines Zusammenhangs häufig mehr Regeln definiert werden müssen, andererseits sind normalisierte Regelblöcke ab einer gewissen Größe intuitiver zu erfassen und vergleichsweise leichter zu handhaben.⁵⁶⁴ Die Anzahl der möglichen Regeln hängt von der Anzahl der Eingangsgrößen und von der Anzahl ihrer linguistischen Werte ab. In diesem Zusammenhang ist es üblicherweise nicht notwendig, alle möglichen Kombinationen von Eingangsgrößen beziehungsweise linguistischen Werten abzubilden. Stattdessen sollten möglichst alle realistischen Kombinationen durch die Regelbasis abgedeckt werden.⁵⁶⁵ Um die Vollständigkeit der Regelbasis zu gewährleisten, müssen so viele Regeln definiert werden, dass für jede mögliche realistische Situation, also für jede relevante Kombination von Eingangsgrößen, zumindest eine Regel aktiviert wird und eine Handlungsempfehlung abgegeben werden kann. Hierbei ist zu beachten, dass durch die Akkumulation der Handlungsempfehlungen der Regeln mit dem Maximum-Operator die Größe und damit verbunden die Unschärfe der resultierenden unscharfen Ausgangsmenge aller Regeln zunimmt. Zur Vereinfachung der Defuzzifizierung sollte bei der Spezi-

⁵⁶² Vgl. Kahlert; Franck (1994), S. 175, Biewer (1997), S. 394 und Kruse; Gebhardt; Klawonn (1993), S. 185

⁵⁶³ Diese Vorgehensweise entspricht Punkt (3) der oben dargestellten Möglichkeiten der Entwicklung von Regeln beziehungsweise Regelbasen.

⁵⁶⁴ Vgl. Altrock (1993), S. 162

⁵⁶⁵ Vgl. Kahlert; Franck (1994), S. 176. Bei einer Anzahl von m Eingangsgrößen und p linguistischen Werten je Eingangsgröße ergibt sich eine Gesamtanzahl von p^m möglichen Regeln.

fikation der Regeln ein deterministisches Reglerverhalten modelliert werden, bei dem für eine gegebene Situation nur eine Konklusion der Regeln möglich ist.⁵⁶⁶ Weiterhin ist auf die Konsistenz beziehungsweise Widerspruchsfreiheit der Regeln zu achten, um das gewünschte Reglerverhalten zu gewährleisten.⁵⁶⁷

Die Komplexität der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung führt zu einer entsprechenden Komplexität bei der Abbildung und Integration der Zusammenhänge innerhalb der Wissensbasis des Fuzzy-Reglers. Die Komplexität konkretisiert sich in der Vielzahl der Eingangsgrößen und der für deren Erfassung notwendigen linguistischen Variablen einschließlich ihrer linguistischen Werte und der daraus resultierenden sehr großen Anzahl von möglichen beziehungsweise für die Vollständigkeit der Regelbasis erforderlichen Anzahl von Regeln. Für die Entscheidungsfindung hat es sich bewährt, bei komplexen Problemstellungen die Vielzahl unterschiedlicher Zielkriterien, die bei der Entscheidung zu berücksichtigen sind, durch ein hierarchisch aufgebautes Zielsystem zu strukturieren.⁵⁶⁸ Die Systematik der Zerlegung und Überführung komplexer Problemstellungen in eine Bewertungshierarchie kann in Form eines mehrstufigen hierarchischen Regelwerkes auf die Fragestellungen im Rahmen dieser Arbeit übertragen werden.⁵⁶⁹ In diesem Zusammenhang sollen die Hauptaufgaben der Technologiefrühaufklärung als Bewertungshierarchiestufen der Regelbasis des Fuzzy-Reglers definiert werden. Die unterste Hierarchiestufe wird durch die Aufgabe der Informationserfassung gebildet. Hier werden die Ausprägungen der Eingangsinformationen der Technologiefrühaufklärung in Abhängigkeit von den eingesetzten Methoden und Instrumenten mit den jeweiligen linguistischen Variablen durch die entsprechenden linguistischen Werte erfasst. Für die einzelnen Methoden und Instrumente der Informationserfassung werden separate Eingangsgrößenblöcke definiert. Dadurch wird eine entsprechende Transparenz hinsichtlich der mit den eingesetzten Methoden und Instrumenten erfassten Eingangsinformationen gewährleistet und die Handhabbarkeit des Regelwerkes erleichtert. Die Verknüpfung

⁵⁶⁶ Vgl. Kruse; Gebhardt; Klawonn (1993), S. 186

⁵⁶⁷ Vgl. Kiendl (1997), S. 138 und Kahlert; Franck (1994), S. 177

⁵⁶⁸ Vgl. Rommelfanger; Eickemeier (2002), S. 133, 149

⁵⁶⁹ Vgl. Zimmermann; Zysno (1983) und Rommelfanger (1988), S. 157 - 161

der Eingangsgrößenblöcke beziehungsweise einzelner Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe mit der zweiten Hierarchiestufe, der Informationsbewertung, ist von den eingesetzten Methoden und Instrumenten der Informationsbewertung abhängig. Die Bewertung und Überführung der Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe in unscharfe Ausgangsmengen der zweiten Hierarchiestufe erfolgt mit Hilfe der in den Regelmengen abgebildeten Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen der Methoden und Instrumente zur Informationsbewertung. Diese unscharfen Ausgangsmengen sind wiederum die unscharfen Eingangsgrößen der obersten Hierarchiestufe, der Informationszusammenführung und -strukturierung.⁵⁷⁰ In Abhängigkeit von den hier verwendeten Methoden und Instrumenten beziehungsweise Regelmengen werden die unscharfen Ausgangsmengen der vorhergehenden Hierarchiestufe verknüpft und zu aggregierten unscharfen oder gegebenenfalls scharfen Ausgangsmengen der obersten Hierarchiestufe weiterverarbeitet. Für die einzelnen Methoden und Instrumente der mittleren und obersten Hierarchiestufe werden separate Regelblöcke gebildet, um die jeweiligen Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen zu formulieren. Dadurch wird einerseits die Transparenz und Handhabbarkeit des Regelwerkes erhöht. Andererseits kann dadurch die mit dem Methodenbaukastenansatz angestrebte Anwendungsflexibilität des Fuzzy-Reglers in der Wissensbasis operationalisiert werden und in Abhängigkeit von den eingesetzten Methoden und Instrumenten ein entsprechender Verarbeitungsmechanismus durch die Regelbasis zur Verfügung gestellt werden.⁵⁷¹ Abbildung 37 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des hierarchischen Regelwerkes für den Fuzzy-Regler des Technologiefrühaufklärungsprozesses unter Berücksichtigung der in diese Arbeit einbezogenen Methoden und Instrumente der Technologiefrühaufklärung.

⁵⁷⁰ In hierarchischen Bewertungssystemen sind Defuzzifizierungsschritte nicht notwendig und die Inferenzergebnisse einer Aggregationsstufe können als direkte Eingangsgrößen der nächsten Aggregationsstufe genutzt werden (vgl. Rommelfanger; Eickemeier (2002), S. 183).

⁵⁷¹ Gleichzeitig wird es dadurch beispielsweise möglich, in Abhängigkeit der eingesetzten Methoden und Instrumente nicht benötigte Regelblöcke auszuschalten und den Berechnungsaufwand des Fuzzy-Reglers zu verringern, da die Berechnung der Regelblöcke nicht verwendeter Methoden und Instrumente entfällt.

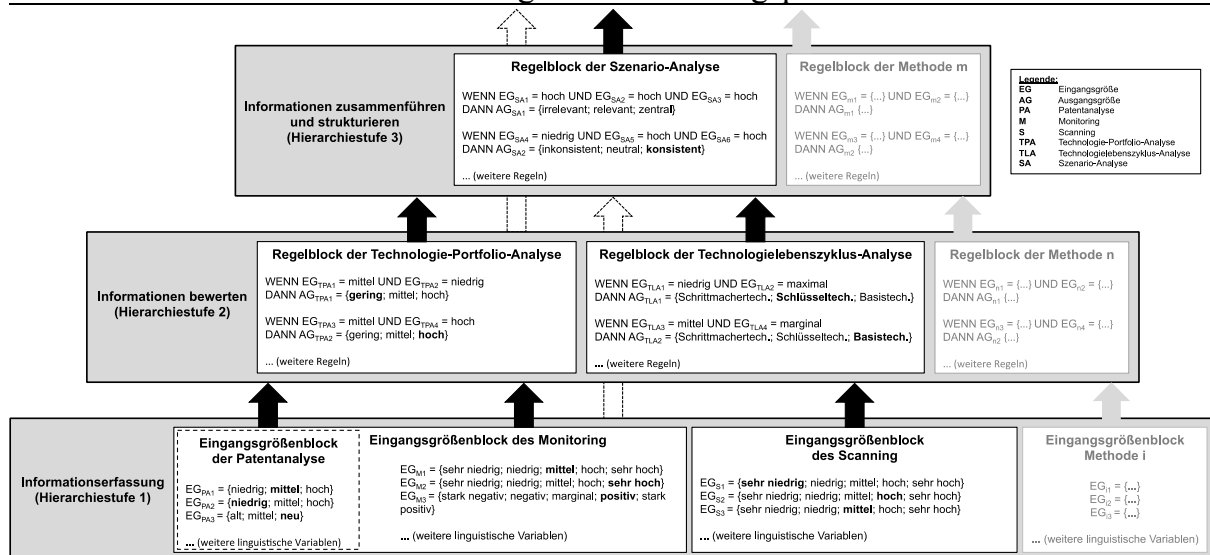


Abbildung 37: Grundstruktur des unscharfen hierarchischen Regelwerkes
(Quelle: in Anlehnung an Mißler-Behr (2001), S. 77)

Für die vorgestellten Methoden und Instrumente der Technologiefrühaufklärung wird im Folgenden die Regelbasis konkret ausgestaltet. Hierzu ist einerseits das in den einzelnen Methoden und Instrumenten enthaltene Expertenwissen in Form von Regelblöcken abzubilden. Zudem müssen die Verknüpfungen zwischen den Hierarchiestufen definiert werden. Dazu ist festzulegen, welche Ausgangsgrößen einer Hierarchiestufe in einen bestimmten Regelblock der nächsten Hierarchiestufe als Eingangsgrößen eingehen. Weiterhin muss für jeden Regelblock festgelegt werden, wie die Eingangsgrößen eines Regelblockes in die als Eingangsgrößen der jeweiligen Methoden und Instrumente definierten linguistischen Variablen überführt werden. Hierin ist die entscheidende Fragestellung für die Zielstellung der Überwindung der methodischen Fragmentierung des Technologiefrühaufklärungsprozesses dieser Arbeit zu sehen.⁵⁷² Zu diesem Zweck wird jedem Regelblock eine spezifische Regelmenge zur Interpretation beziehungsweise Überführung der Eingangsgrößen des Regelblockes in die als Eingangsgrößen der Methoden und Instrumente definierten linguistischen Variablen vorgeschaltet. Für jeden linguistischen Wert, den die linguistische Variable einer Eingangsgröße des Regelblockes annehmen kann, wird eine Regel formuliert, die bestimmt, welcher linguistische Wert einer als Eingangsgröße der jeweiligen Methoden und Instrumente definierten linguistischen Variablen aus der Wirkungsbeziehung zwischen diesen beiden linguistischen Variablen resultiert. Diese linguistischen

⁵⁷² Vgl. Kapitel 5.2.2

Werte werden dann in den die Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen der Methoden und Instrumente abbildenden Regelmengen als Eingangsgrößen weiterverarbeitet. Durch diesen Ansatz wird es möglich, die Regelmengen zur Interpretation der Eingangsgrößen der Regelblöcke unabhängig von den Regelmengen, welche die Funktionsweisen und die Schlussfolgerungsmechanismen der Methoden und Instrumente abbilden, zu verändern.⁵⁷³ Auf diese Weise kann zum einen der angestrebten Allgemeingültigkeit und Flexibilität des Fuzzy-Reglers Rechnung getragen werden und zum anderen eine transparente und handhabbare Wissensbasis realisiert werden.⁵⁷⁴

6.3.3.1 Entwicklung des Regelblockes für das Technologielebenszyklus-Konzept

Als erstes wird der Regelblock des Technologielebenszyklus-Konzeptes entwickelt. Zur Gestaltung der vorgeschalteten Regelmenge muss für die als Eingangsgrößen definierten linguistischen Variablen des Technologielebenszyklus-Konzeptes jeweils festgelegt werden, mit welcher der Ausgangsgrößen der ersten Hierarchiestufe Wirkungsbeziehungen bestehen. Sofern Wirkungsbeziehungen unterstellt werden können, ist zu bestimmen, in welcher Weise diese Ausgangsgrößen die als Eingangsgrößen definierten linguistischen Variablen des Technologielebenszyklus-Konzeptes beeinflussen. Aus diesen Wirkungsbeziehungen können entsprechende Regeln für die vorgeschaltete Regelmenge des Technologielebenszyklus-Konzeptes abgeleitet werden, um die Ausgangsgrößen der ersten Hierarchiestufe in entsprechende Eingangsgrößen des Technologielebenszyklus-Konzeptes zu überführen. Abbildung 38 zeigt die für diese Arbeit beispielhaft entwickelten linguistischen Variablen für die Informationserfassung, welche in diesem Zusammenhang die Ausgangs-

⁵⁷³ Beispielsweise kann durch die Veränderung von Konklusionen der Regeln der vorgeschalteten Regelmengen auf einfache Weise Einfluss auf die Interpretation der Eingangsgrößen der Regelblöcke in unterschiedlichen Zusammenhängen genommen werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Eingangsgrößen auf die jeweiligen Methoden und Instrumente bezogen berücksichtigt und interpretiert sowie beliebig kombiniert werden können, ohne dabei aufwändige Anpassungen der Regelmengen für die Schlussfolgerungsmechanismen erforderlich zu machen.

⁵⁷⁴ Durch eine vorgeschaltete Verdichtung der Eingangsgrößen der Regelblöcke kann zudem die Anzahl der in den Prämissen des Regelblockes zu erfassenden Eingangsgrößen und somit die Anzahl der Regeln des Regelblockes reduziert werden (vgl. Momsen (2006), S. 137).

größen der ersten Hierarchiestufe repräsentieren, und die als Eingangsgrößen definierten linguistischen Variablen des Technologielebenszyklus-Konzeptes⁵⁷⁵, zwischen denen im nächsten Schritt geeignete Wirkungsbeziehungen zu definieren sind.

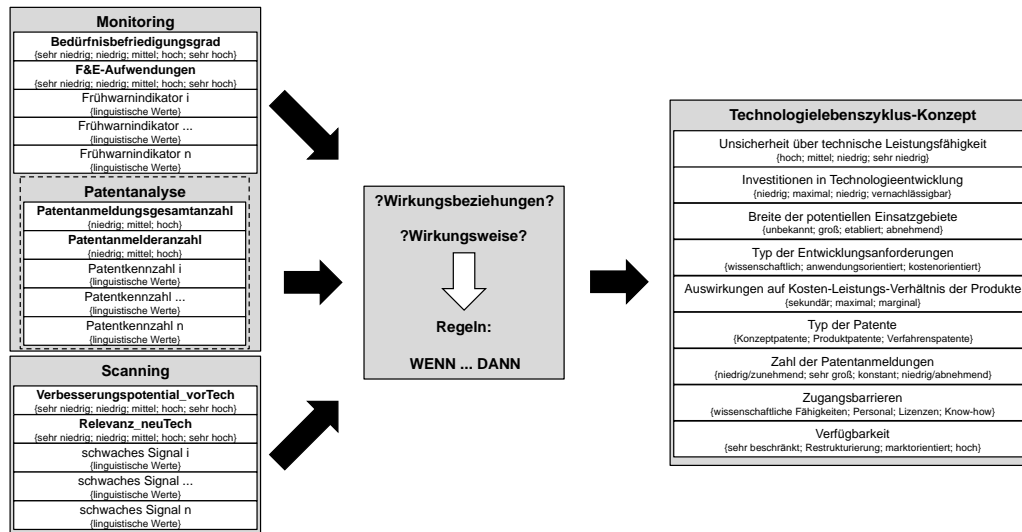


Abbildung 38: Überführung der Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe in die Eingangsgrößen des Technologielebenszyklus-Konzept (Quelle: eigene Darstellung)

Wird für eine bestimmte Ausgangsgröße eine Wirkungsbeziehung zu einer bestimmten Eingangsgröße unterstellt, kann der Einfluss dieser Ausgangsgröße auf die Eingangsgröße durch die Verknüpfung der linguistischen Werte beider Größen in einer Regel formuliert und dadurch die Ausgangsgröße in die Eingangsgröße überführt werden. Abbildung 39 zeigt die zur Überführung der Ausgangsgrößen in ausgewählte Eingangsgrößen des Technologielebenszyklus-Konzeptes definierten vorgeschalteten Regelmengen.⁵⁷⁶

⁵⁷⁵ Vgl. Kapitel 6.3.2.1

⁵⁷⁶ Der begrenzte Umfang der Arbeit macht die Beschränkung auf Beispiele notwendig. Zudem stehen nicht einzelne Methoden und Instrumente im Fokus dieser Arbeit, sondern der übergeordnete Prozess der Technologiefrühaufklärung und die Verbindung der Methoden und Instrumente beziehungsweise Phasen des Technologiefrühaufklärungsprozesses mit Hilfe der Konzepte der Fuzzy Set Theorie. Daher besteht die Zielstellung bei der Anführung von Beispielen darin, die grundsätzliche Vorgehensweise zur Entwicklung und Umsetzung des Konzeptes darzustellen.

Patentkennzahl/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable	Schwaches Signal/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable	Schwaches Signal/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable	Frühwarnindikator/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable
Patentanmeldungs- gesamtanzahl	Zahl der Patentanmeldungen	Verbesserungs- potential_vorTech	Auswirkungen Kosten- Leistungs-Verhältnis	Relevanz_neuTech	Breite potentieller Einsatzgebiete	Bedürfnis- befriedigungsgrad	Investitionen in Technologieentwicklung
niedrig UND zunehmend	zunehmend	sehr niedrig UND zunehmend	sekundär	sehr niedrig UND zunehmend	unbekannt	sehr niedrig UND zunehmend	niedrig1
niedrig UND abnehmend	niedrig	sehr niedrig UND abnehmend	marginal2	sehr niedrig UND abnehmend	abnehmend	sehr niedrig UND abnehmend	vernachlässigbar
niedrig UND konstant	zunehmend	sehr niedrig UND konstant	sekundär	sehr niedrig UND konstant	unbekannt	sehr niedrig UND konstant	niedrig1
mittel UND zunehmend	zunehmend	niedrig UND zunehmend	sekundär	niedrig UND zunehmend	unbekannt	niedrig UND zunehmend	niedrig1
mittel UND abnehmend	abnehmend	niedrig UND abnehmend	marginal1	niedrig UND abnehmend	abnehmend	niedrig UND abnehmend	vernachlässigbar
mittel UND konstant	abnehmend	niedrig UND konstant	sekundär	niedrig UND konstant	unbekannt	niedrig UND konstant	niedrig2
hoch UND zunehmend	hoch	mittel UND zunehmend	maximal	mittel UND zunehmend	groß	mittel UND zunehmend	maximal
hoch UND abnehmend	hoch	mittel UND abnehmend	marginal1	mittel UND abnehmend	etabliert	mittel UND abnehmend	niedrig2
hoch UND konstant	hoch	mittel UND konstant	sekundär	mittel UND konstant	etabliert	mittel UND konstant	niedrig2
		hoch UND zunehmend	maximal	hoch UND zunehmend	groß	hoch UND zunehmend	maximal
		hoch UND abnehmend	maximal	hoch UND abnehmend	etabliert	hoch UND abnehmend	maximal
		hoch UND konstant	maximal	hoch UND konstant	etabliert	hoch UND konstant	maximal
		sehr hoch UND zunehmend	maximal	sehr hoch UND zunehmend	groß	sehr hoch UND zunehmend	maximal
		sehr hoch UND abnehmend	maximal	sehr hoch UND abnehmend	groß	sehr hoch UND abnehmend	maximal
		sehr hoch UND konstant	maximal	sehr hoch UND konstant	groß	sehr hoch UND konstant	maximal

Abbildung 39: Vorgeschaltete Regelmengen des Technologielebenszyklus-Konzeptes
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die hierbei unterstellten Wirkungsbeziehungen basieren auf den Darstellungen zur Technologiefrühaufklärung in der Literatur⁵⁷⁷, insbesondere zum Technologielebenszyklus-Konzept⁵⁷⁸ sowie zur Bedeutung von Aktivitätskennzahlen der Patentanalyse für das Erkennen technologischer Entwicklungen.⁵⁷⁹ Jede der dargestellten Tabellen entspricht einer vorgeschalteten Regelmenge für einen Indikator beziehungsweise für eine der als Eingangsgrößen definierten linguistischen Variablen des Technologielebenszyklus-Konzeptes. Diese Eingangsgröße wird durch die Regeln dieser Regelmenge mit einer Ausgangsgröße der ersten Hierarchiestufe verknüpft.⁵⁸⁰ Jede Zeile einer Tabelle entspricht einer Regel. Die linken Spalten der einzelnen Tabellen bilden die Prämissen der Regeln ab. Sie enthalten die linguistischen Werte der zu überführenden Ausgangsgrößen. Da auch die zeitliche Veränderung einer Ausgangsgröße für die Zuordnung einer Technologie zu einer Lebenszyklusphase von großer Bedeutung ist, werden die Prämissen der Regeln mit Hilfe des Mini-

⁵⁷⁷ Das hier entnommene Wissen repräsentiert gewissermaßen das erforderliche Expertenwissen für die Erstellung der Regelbasis. Die Angemessenheit dieser mehr oder weniger verallgemeinerten Zusammenhänge muss für spezifische Anwendungszwecke durch entsprechendes Erfahrungswissen überprüft werden. Zudem wird mit dieser beispielhaften Darstellung von Regeln nicht der Anspruch auf eine vollständige Abbildung aller möglichen Wirkungsbeziehungen zwischen einzelnen Ausgangs- und Eingangsgrößen erhoben.

⁵⁷⁸ Vgl. beispielsweise Sommerlatte; Deschamps (1986), S. 52 - 53, Specht; Beckmann; Amelingmeyer (2002), S. 65 - 71 und Wolfrum (1994), S. 111 - 120

⁵⁷⁹ Vgl. beispielsweise Campbell (1983b) und Ernst (1996), S. 103 - 112

⁵⁸⁰ Auch die Kombination mehrerer Ausgangsgrößen zur Beschreibung einer Eingangsgröße ist möglich. Allerdings erhöht sich die Komplexität der Regelmenge hierdurch entsprechend und erscheint nur gerechtfertigt, wenn die Aussagequalität der Eingangsgröße entsprechend verbessert werden kann. Im Rahmen dieser Arbeit werden die vorgeschalteten Regelmengen durch einfache Wirkungsbeziehungen gestaltet.

mum-Operators zu einer zeitpunkt- und zeitraumbezogenen Betrachtung der Ausgangsgrößen aggregiert.⁵⁸¹ Die rechten Spalten enthalten die Konklusionen der Regeln und bilden für eine gegebene Prämisse die unterstellte Wirkung der Ausgangsgröße auf den betrachteten Indikator des Technologielebenszyklus-Konzeptes durch die Zuordnung des entsprechenden linguistischen Wertes des Indikators ab.⁵⁸² Hierdurch werden die Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe entsprechend überführt und die Eingangsgrößen des Technologielebenszyklus-Konzeptes bestimmt. Die Zuordnung der linguistischen Werte des Indikators zu einer Prämisse ist trotz der Orientierung an den in der Literatur beschriebenen Zusammenhängen nicht immer eindeutig möglich und als situationsabhängig zu betrachten. Die Angemessenheit der festgelegten Wirkungsbeziehungen muss daher für einen spezifischen Anwendungsfall zunächst überprüft werden.⁵⁸³

Die bereits in Abbildung 31 dargestellten Zusammenhänge zwischen den Ausprägungen der Indikatoren und den Lebenszyklusphasen einer Technologie bilden die Grundlage zur Erstellung des Regelblockes für die Schlussfolge-

⁵⁸¹ In Abhängigkeit von der Anzahl der zu verknüpfenden linguistischen Werte müssen für das vorliegende Beispiel zur Entwicklung vollständiger Regelmengen 9 beziehungsweise 15 Regeln formuliert werden.

⁵⁸² Da in dem zugrunde gelegten Technologielebenszyklus-Konzept teilweise gleiche Namen zur Beschreibung der Ausprägung eines Indikators für unterschiedliche Lebenszyklusphasen verwendet werden (vgl. Abbildung 31), ist eine Nummerierung dieser Namen erforderlich, um in der Regelmenge des Schlussfolgerungsmechanismus die entsprechende Lebenszyklusphase zuzuordnen zu können.

⁵⁸³ Beispielsweise könnte eine niedrige und konstante Zahl der Patentanmeldungen daraus resultieren, dass sich eine Technologie trotz erster Entwicklungserfolge noch nicht durchsetzen kann, da sie bisher zu unausgereift oder zu teuer ist und daher vom Markt nicht angenommen wird oder das Anwendungspotential noch nicht vollständig erkannt wurde (vgl. Ernst (1996), S. 110). Die Technologie befindet sich in einer Konsolidierungsphase und wäre in diesem Fall der Entstehungsphase zuzuordnen. Da viele Unternehmen bei ihren „veralteten“ Technologien verharren und daher noch in die Forschung und Entwicklung für Basistechnologien investieren (vgl. Specht (2002), S. 68) könnte andererseits eine niedrige und konstante Zahl der Patentanmeldungen auch in der Altersphase einer Technologie vorliegen. Für diese Arbeit wird der erste Fall unterstellt. Auch eine niedrige und abnehmende Zahl der Patentanmeldungen kann in der Konsolidierungsphase einer Technologie begründet sein (vgl. Ernst (1996), S. 110). In dieser Arbeit wird für diesen Fall allerdings angenommen, dass sich die Technologie in der Altersphase befindet. Eine mittlere und konstante beziehungsweise abnehmende Zahl der Patentanmeldungen soll in dieser Arbeit als Reifephase einer Technologie interpretiert werden.

rungsmechanismen des Technologielebenszyklus-Konzeptes. Abbildung 40 zeigt diesen Regelblock.⁵⁸⁴

Indikatoren des Technologielebenszyklus-Konzeptes									Lebenszyklusphase
Unsicherheit über technische Leistungsfähigkeit	Investitionen in Technologieentwicklung	Breite der potentiellen Einsatzgebiete	Typ der Entwicklungsanforderungen	Auswirkungen auf das Kosten-Leistungs-Verhältnis der Produkte	Zahl der Patentanmeldungen	Typ der Patente	Zugangsbarrieren	Verfügbarkeit	
hoch	niedrig1	unbekannt	wissenschaftlich	sekundär	zunehmend	Konzeptpatente	wissenschaftliche Fähigkeiten	sehr beschränkt	Entstehungsphase
mittel	maximal	groß	anwendungsorientiert1	maximal	hoch	Produktpatent	Personal	Restrukturierung	Wachstumsphase
niedrig	niedrig2	etabliert	anwendungsorientiert2	marginal1	abnehmend	Verfahrenspatent1	Lizenzen	marktorientiert	Reifephase
sehr niedrig	vernachlässigbar	abnehmend	kostenorientiert	marginal2	niedrig	Verfahrenspatent2	Know-how	hoch	Altersphase

Abbildung 40: Regelmengen für den Schlussfolgerungsmechanismus des Technologielebenszyklus-Konzeptes (Quelle: Eigene Darstellung)

Jede Spalte entspricht einer indikatorbezogenen Regelmenge, wobei jede Zeile einer Prämisse dieser Regelmenge entspricht. Die rechte Spalte enthält die Konklusionen der Regeln und bildet für eine gegebene Prämisse eines Indikators die unterstellte Zugehörigkeit zu einer Lebenszyklusphase ab. In Verbindung mit der vorgeschalteten Regelmenge eines Indikators wird durch die indikatorbezogenen Regelmengen auf der Ausgangsgröße des Technologielebenszyklus-Konzeptes eine Zwischenvariable des Indikators für die Zugehörigkeit der betrachteten Technologie zu einer Lebenszyklusphase ermittelt. Aus der Fuzzifizierung einer Eingangsgröße des Fuzzy-Reglers resultiert zunächst eine unscharfe Menge dieser Eingangsgröße. Als Ausgangsgröße der untersten Hierarchiestufe aktiviert diese, basierend auf den definierten Wirkungsbeziehungen zwischen dieser Ausgangsgröße und einem Indikator des Technologielebenszyklus-Konzeptes, mit ihrem Zugehörigkeitsgrad bestimmte Regeln der vorgeschalteten Regelmenge des Indikators. Aus der Abschwächung der Konklusionen der aktivierten Regeln durch die Zugehörigkeitsgrade der Prämissen resultieren die Zugehörigkeitsgrade der linguistischen Werte der Indikatoren beziehungsweise der als Eingangsgrößen des Technologielebenszyklus-Konzeptes definierten linguistischen Variablen. Mit den indikatorbezogenen Regelmengen für den Schlussfolgerungsmechanismus des Technologielebenszyklus-Konzeptes werden die Zugehörigkeitsgrade dieser linguistischen Werte schließlich auf die entsprechenden linguistischen Werte der Ausgangsgröße, der linguistischen Variable *Lebenszyklusphase*, übertragen

⁵⁸⁴ Für die fett dargestellten Indikatoren wurden die vorgeschalteten Regelmengen beispielhaft entwickelt.

und für jede aktivierte Regel eine Zwischenvariable erzeugt. Durch die Akkumulation der Zwischenvariablen der aktivierten Regeln mit dem Maximum-Operator resultiert eine indikatorbezogene akkumulierte Zwischenvariable. Abbildung 40 bis Abbildung 44 veranschaulichen die beschriebenen Zusammenhänge für die beispielhaft ausgewählten Indikatoren.

Zahl der Patentanmeldungen (Quelle: Eigene Darstellung)

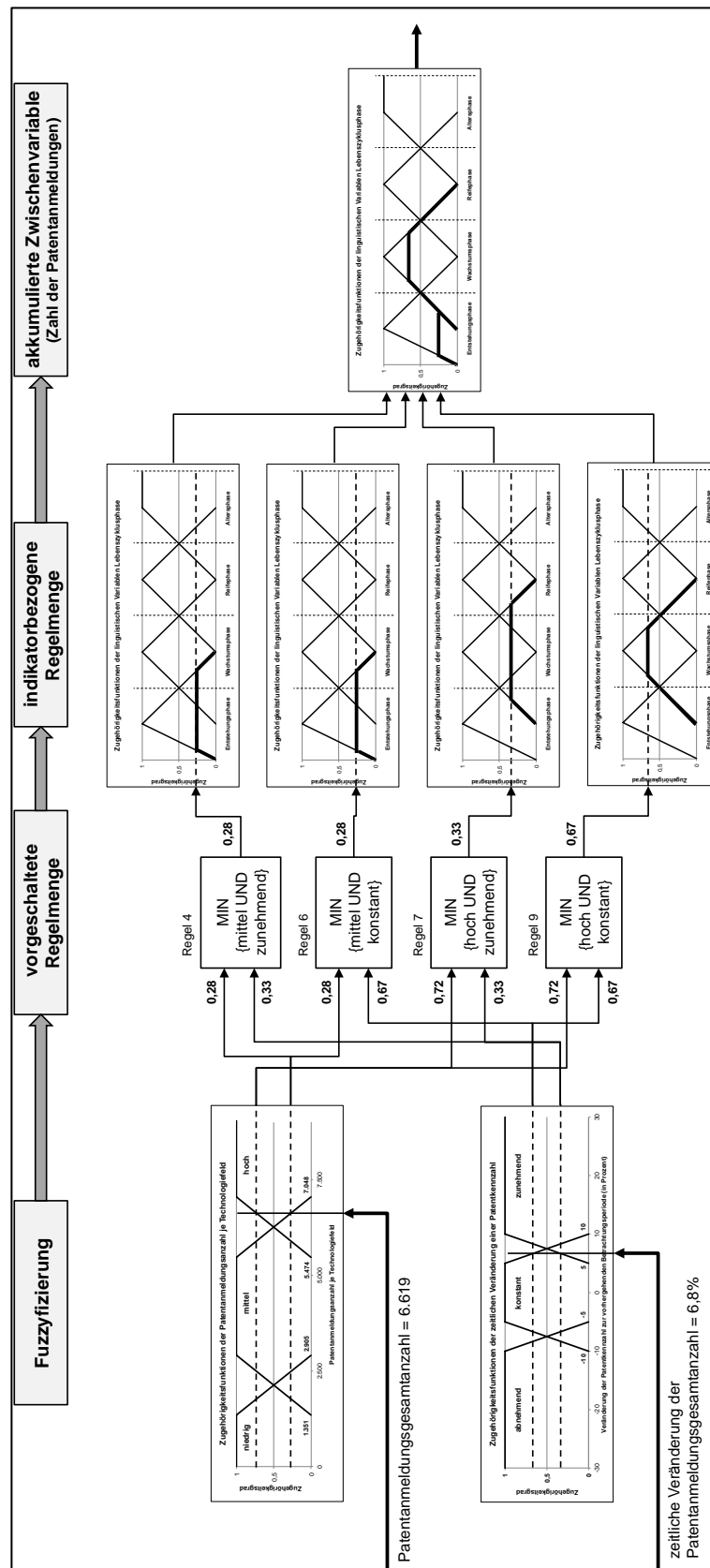
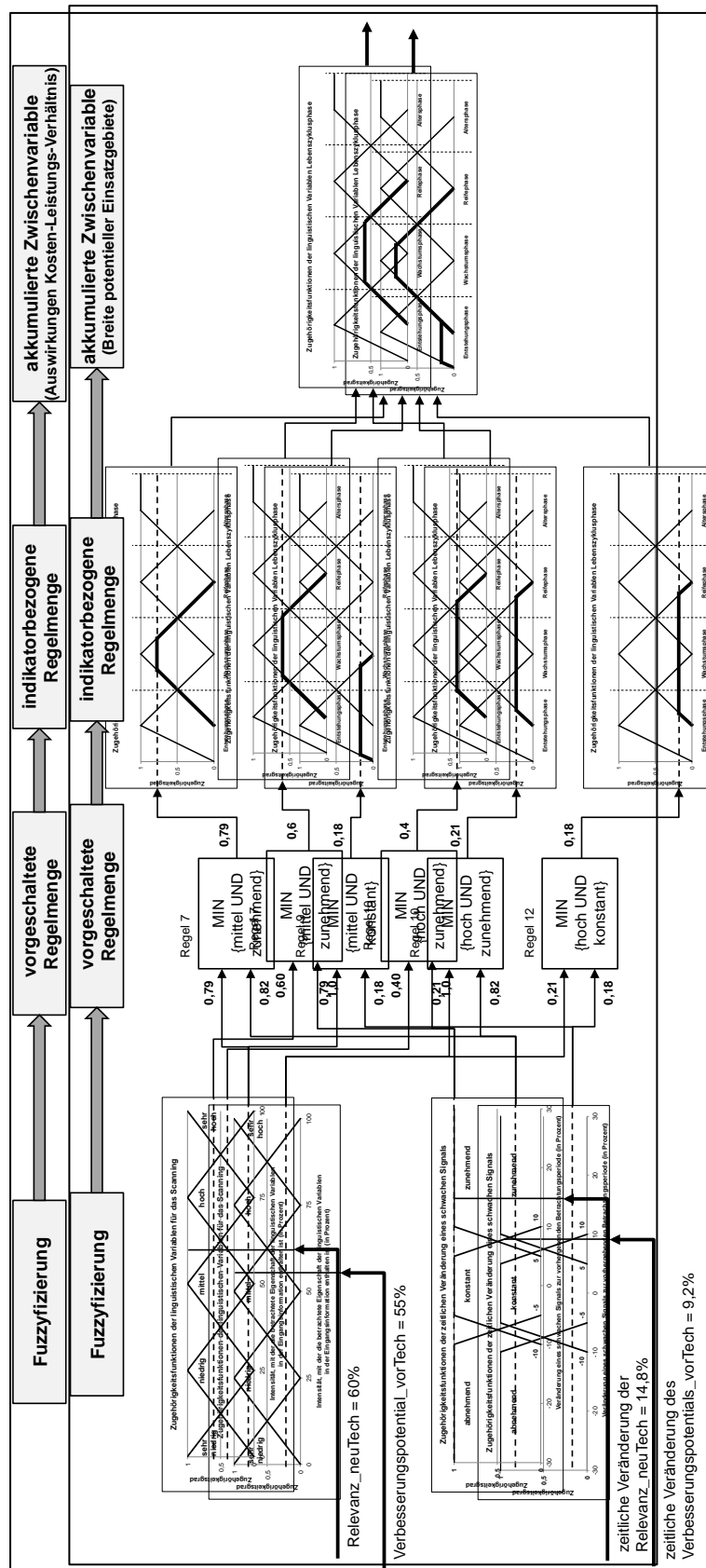
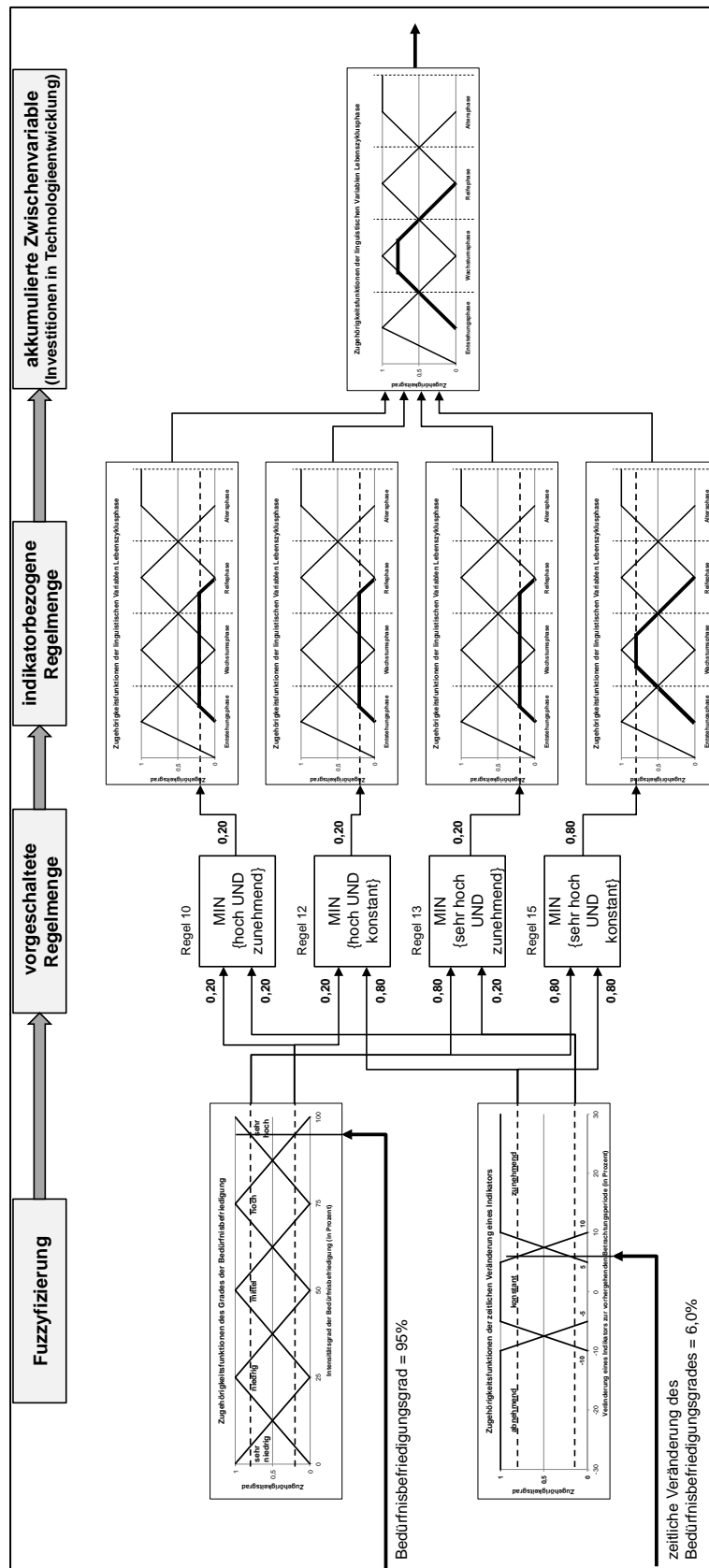


Abbildung 42: Ermittlung der Zugehörigkeit zu einer Lebenszyklusphase für den Indikator



Auswirkungen Kosten-Leistungs-Verhältnis (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 43: Ermittlung der Zugehörigkeit zu einer Lebenszyklusphase für den Indikator



Breite potentieller Einsatzgebiete (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 44: Ermittlung der Zugehörigkeit zu einer Lebenszyklusphase für den Indikator *Investitionen in Technologieentwicklung* (Quelle: Eigene Darstellung)

Die akkumulierten Zwischenvariablen der einzelnen Indikatoren müssen abschließend in eine Gesamtbewertung der Zugehörigkeit der betrachteten Technologie zu einer Lebenszyklusphase überführt werden. Abbildung 45 verdeutlicht die Vorgehensweise zur Verknüpfung der Zwischenvariablen aller Indikatoren des Technologielebenszyklus-Konzeptes mit Hilfe des Maximum-Operators zur Ermittlung einer resultierenden Ausgangsgröße.

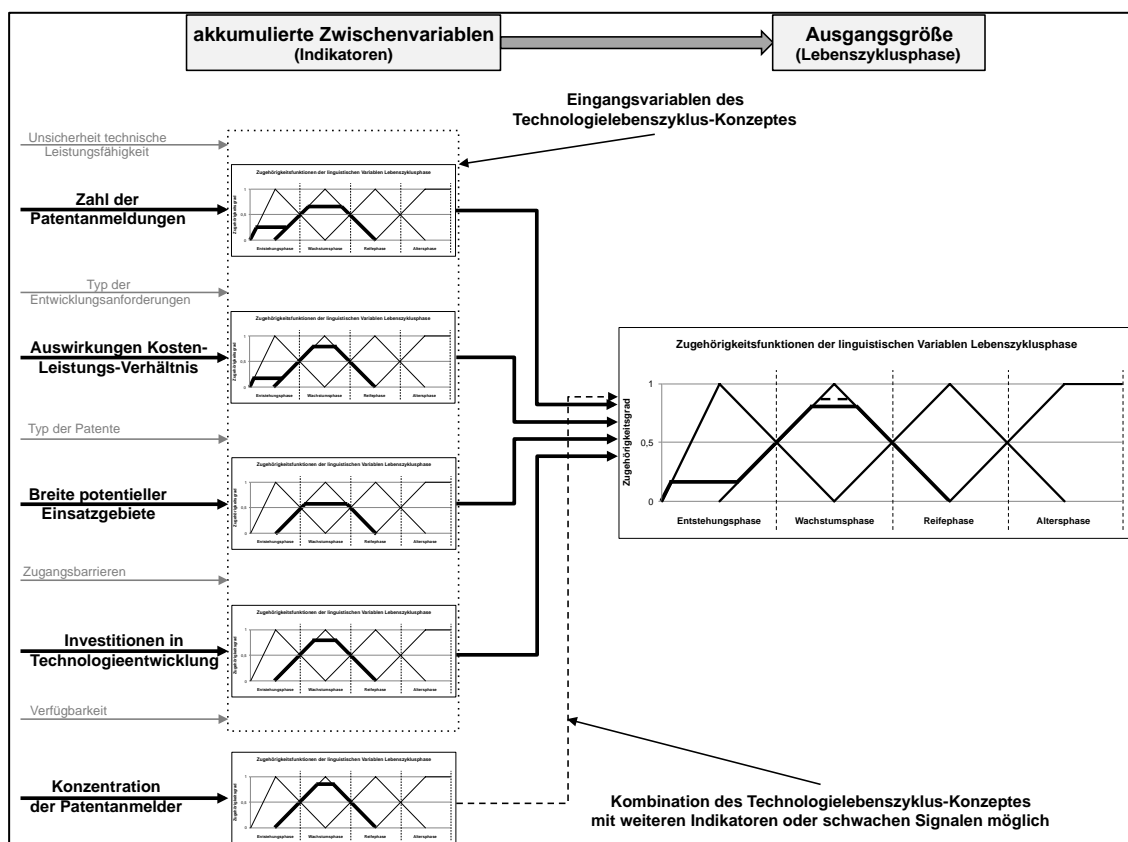


Abbildung 45: Ermittlung der resultierenden Ausgangsgröße des Technologielebenszyklus-Konzeptes (Quelle: Eigene Darstellung)

Die Darstellung zeigt, dass neben den Indikatoren des zugrunde gelegten Technologielebenszyklus-Konzeptes auch eine Kombination mit weiteren Frühwarnindikatoren oder erfassten schwachen Signalen möglich ist und damit zusätzliche Informationen in die Schlussfolgerungsmechanismen integriert werden können, welche die Ausprägungen der anderen Indikatoren bestätigen oder relativieren. Dadurch lassen sich, bei einem unterstellten Zusammenhang zwischen den zusätzlichen Eingangsgrößen und der Lebenszyklusphase einer

Technologie, auf einfache Weise Entscheidungen aus einer größeren Informationsbasis heraus ableiten. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Schlussfolgerungsergebnisse der einzelnen Indikatoren mit einem Relevanzfaktor zu gewichten und damit situationsspezifisch den Einfluss einzelner Indikatoren auf die resultierende Ausgangsgröße zu steuern.⁵⁸⁵ Zur Interpretation und Veranschaulichung dieses Ergebnisses für die Zugehörigkeit zu einer Lebenszyklusphase wird die resultierende Ausgangsgröße mit Hilfe der Maximum-Mittelwert-Methode in Abbildung 46 defuzzifiziert und der zu schlussfolgernde Technologietyp auf der Lebenszykluskurve visualisiert.

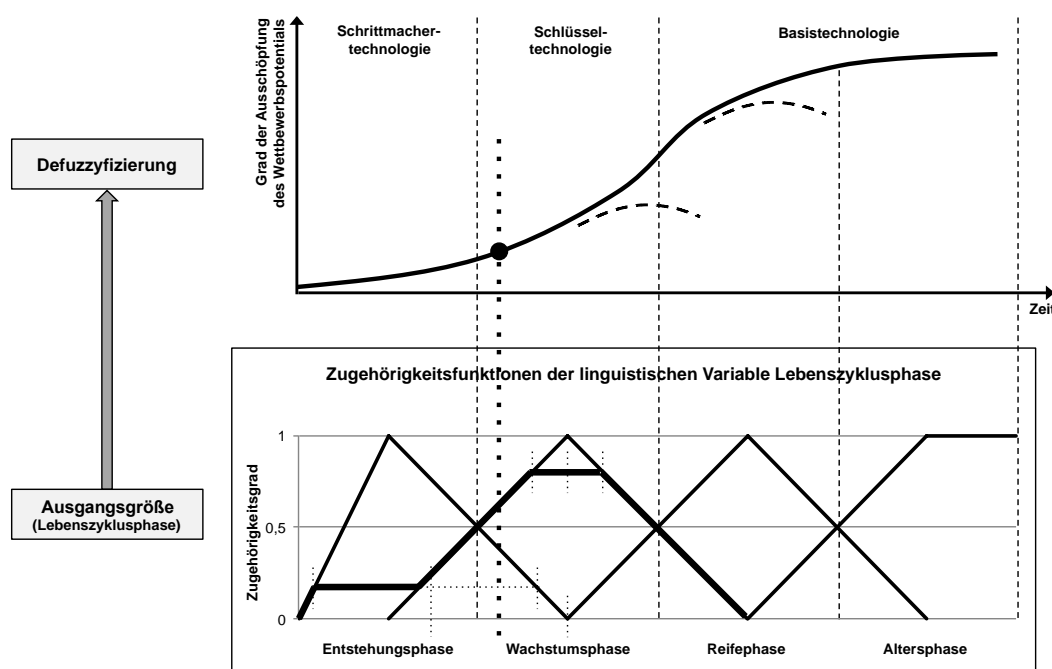


Abbildung 46: Defuzzifizierung der Ausgangsgröße und Bestimmung des Technologietyps
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die sprachliche Interpretation dieser Ausgangsgröße könnte durch die Formulierung „Die Technologie hat die Entstehungsphase noch nicht vollständig verlassen, befindet sich aber schon deutlich in der Wachstumsphase innerhalb des Technologielebenszyklus“ erfolgen. Als Zugehörigkeitsgrad ausgedrückt, ergibt sich eine Zugehörigkeit der betrachteten Technologie zur Entstehungsphase von 0,38 und eine Zugehörigkeit von 0,62 zur Wachstumsphase. Aus der Defuzzifizierung der Ausgangsgröße und der Positionierung auf der Lebenszykluskurve geht hervor, dass die betrachtete Technologie gerade in die

⁵⁸⁵ Im dargestellten Fall gehen alle Indikatoren gleichgewichtet in die Ermittlung der resultierenden Ausgangsgröße ein.

Wachstumsphase eingetreten ist und damit als Schlüsseltechnologie, die eine hohe Relevanz für die zukünftige technologische Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens besitzt, aufgefasst werden muss.⁵⁸⁶

6.3.3.2 Entwicklung des Regelblockes für das Technologieportfolio-Konzept

In gleicher Weise wie für das Technologielebenszyklus-Konzept wird im Folgenden der Regelblock für das Technologieportfolio-Konzept entwickelt. Abbildung 47 zeigt die zu definierenden Wirkungsbeziehungen zwischen den Ausgangsgrößen der ersten Hierarchiestufe und den als Eingangsgrößen definierten linguistischen Variablen des Technologieportfolio-Konzeptes, um die Ausgangsgrößen in die Eingangsgrößen überführen zu können.

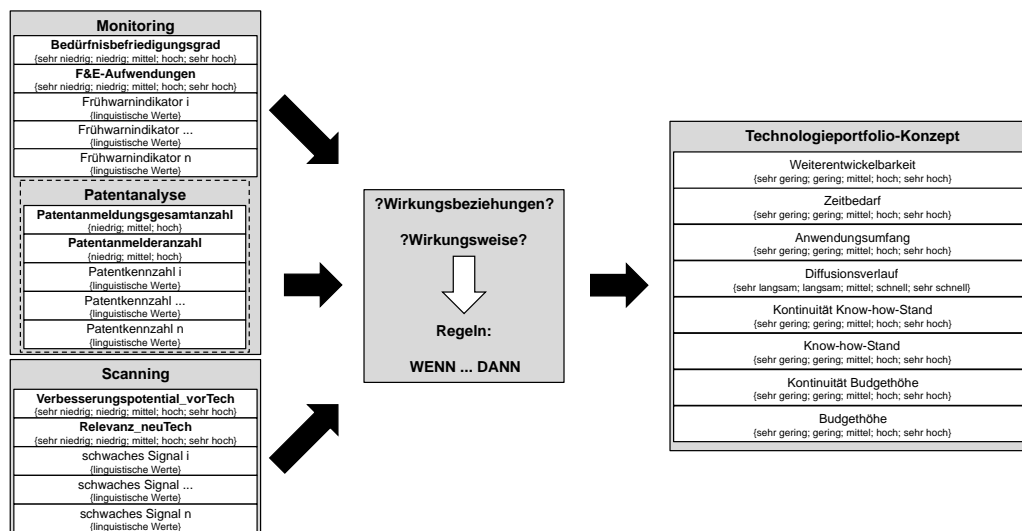


Abbildung 47: Überführung der Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe in Eingangsgrößen für das Technologieportfolio-Konzept (Quelle: eigene Darstellung)

Die für diese Arbeit beispielhaft definierten vorgeschalteten Regelmengen zur Überführung der Ausgangsgrößen in ausgewählte Eingangsgrößen des Technologieportfolio-Konzeptes stellt Abbildung 48 dar.⁵⁸⁷

⁵⁸⁶ Die Information, dass die betrachtete Technologie teilweise auch noch als der Entstehungsphase zugehörig angesehen werden kann, geht mit der Defuzzifizierung der Ausgangsgröße größtenteils verloren.

⁵⁸⁷ Durch diese Regelmengen wird nur die Dimension Technologieattraktivität berücksichtigt. Die erforderlichen Informationen für die Bewertung der Dimension Ressourcenstärke müssen innerhalb einer entsprechenden Unternehmensanalyse hinsichtlich der zu aggregierenden Kriterien erfasst werden. Die Informationen der Technologiefrühaufklärung können in diesem Zusammenhang nur insofern einen Beitrag zur Bewertung der Dimension Ressourcenstärke leisten, als sie für die Bewertung des Know-how-Standes

Patentkennzahl/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable	Frühwarnindikator/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable	Schwaches Signal/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable	Patentkennzahl/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable
Patentanmeldungs- gesamtanzahl	Weiterentwickelbarkeit	F&E-Aufwendungen	Zeitbedarf	Relevanz_neuTech	Anwendungsumfang	Patentanmeldungs- gesamtanzahl	Diffusionsverlauf
niedrig UND zunehmend	mittel	sehr niedrig UND zunehmend	sehr hoch	sehr niedrig UND zunehmend	niedrig	niedrig UND zunehmend	langsam
niedrig UND abnehmend	sehr gering	sehr niedrig UND abnehmend	sehr hoch	sehr niedrig UND abnehmend	sehr niedrig	niedrig UND abnehmend	sehr langsam
niedrig UND konstant	gering	sehr niedrig UND konstant	sehr hoch	sehr niedrig UND konstant	sehr niedrig	niedrig UND konstant	langsam
mittel UND zunehmend	hoch	niedrig UND zunehmend	hoch	niedrig UND zunehmend	mittel	mittel UND zunehmend	mittel
mittel UND abnehmend	niedrig	niedrig UND abnehmend	hoch	niedrig UND abnehmend	sehr niedrig	mittel UND abnehmend	mittel
mittel UND konstant	mittel	niedrig UND konstant	hoch	niedrig UND konstant	niedrig	mittel UND konstant	mittel
hoch UND zunehmend	sehr hoch	mittel UND zunehmend	mittel	mittel UND zunehmend	hoch	hoch UND zunehmend	sehr schnell
hoch UND abnehmend	hoch	mittel UND abnehmend	mittel	mittel UND abnehmend	niedrig	hoch UND abnehmend	schnell
hoch UND konstant	hoch	mittel UND konstant	mittel	mittel UND konstant	mittel	hoch UND konstant	schnell
		hoch UND zunehmend	niedrig	hoch UND zunehmend	sehr hoch		
		hoch UND abnehmend	niedrig	hoch UND abnehmend	mittel		
		hoch UND konstant	niedrig	hoch UND konstant	hoch		
		sehr hoch UND zunehmend	sehr niedrig	sehr hoch UND zunehmend	sehr hoch		
		sehr hoch UND abnehmend	sehr niedrig	sehr hoch UND abnehmend	hoch		
		sehr hoch UND konstant	sehr niedrig	sehr hoch UND konstant	sehr hoch		

Abbildung 48: Vorgeschaltete Regelmengen des Technologieportfolio-Konzeptes
(Quelle: eigene Darstellung)

Aus der Fuzzyifizierung der Eingangsgrößen des Fuzzy-Reglers resultieren die Zugehörigkeitsgrade der linguistischen Werte der einzelnen Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe. Die mit Hilfe der vorgeschalteten Regelmengen definierten Wirkungsbeziehungen zwischen diesen Ausgangsgrößen und den Eingangsgrößen des Technologieportfolio-Konzeptes überführen für die jeweils aktivierten Regeln die Zugehörigkeitsgrade der Ausgangsgrößen in die Zugehörigkeitsgrade der linguistischen Werte der Eingangsgrößen. Die einzelnen Konklusionen der aktivierten Regeln der vorgeschalteten Regelmengen für eine Eingangsgröße des Technologieportfolio-Konzeptes werden abschließend mit dem Maximum-Operator jeweils zu einer resultierenden Eingangsgröße akkumuliert. Abbildung 49 bis Abbildung 52 zeigen die beschriebenen Zusammenhänge für ausgewählte Eingangsgrößen.

eines Unternehmens beispielsweise Vergleichswerte über die Patentaktivitäten oder über die Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen anderer Unternehmen ermöglichen. Aus diesem Grund beschränken sich die weiteren Ausführungen auf die Dimension Technologieattraktivität (vgl. zur Ermittlung der Ressourcenstärke beispielsweise Bulinger (1994), S. 158 -159 oder Pfeiffer et al. (1991), S. 89 - 92). Die in den Regelmengen unterstellten Wirkungsbeziehungen für die Dimension Technologieattraktivität basieren auf den Ausführungen zum Technologieportfolio-Konzept in der Literatur (vgl. beispielsweise Pfeiffer et al. (1991), S. 85 - 88, Gerpott (2005), S. 154 - 165 oder Wolfrum (1991), S. 220 - 246) beziehungsweise auf den Ausführungen zum Diffusionsverlauf von Technologien (vgl. beispielsweise Ernst (1996), S. 108, 109) und sind auf entsprechende Angemessenheit für einen spezifischen Anwendungsfall zu überprüfen. Auch die Ausgangsgrößen des Technologielebenszyklus-Konzeptes können einen wesentlichen Beitrag zur Abschätzung der Technologieattraktivität, insbesondere hinsichtlich des Weiterentwicklungspotentials von Technologien, leisten (vgl. Specht (1996), Sp. 1992).

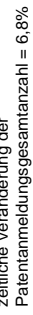


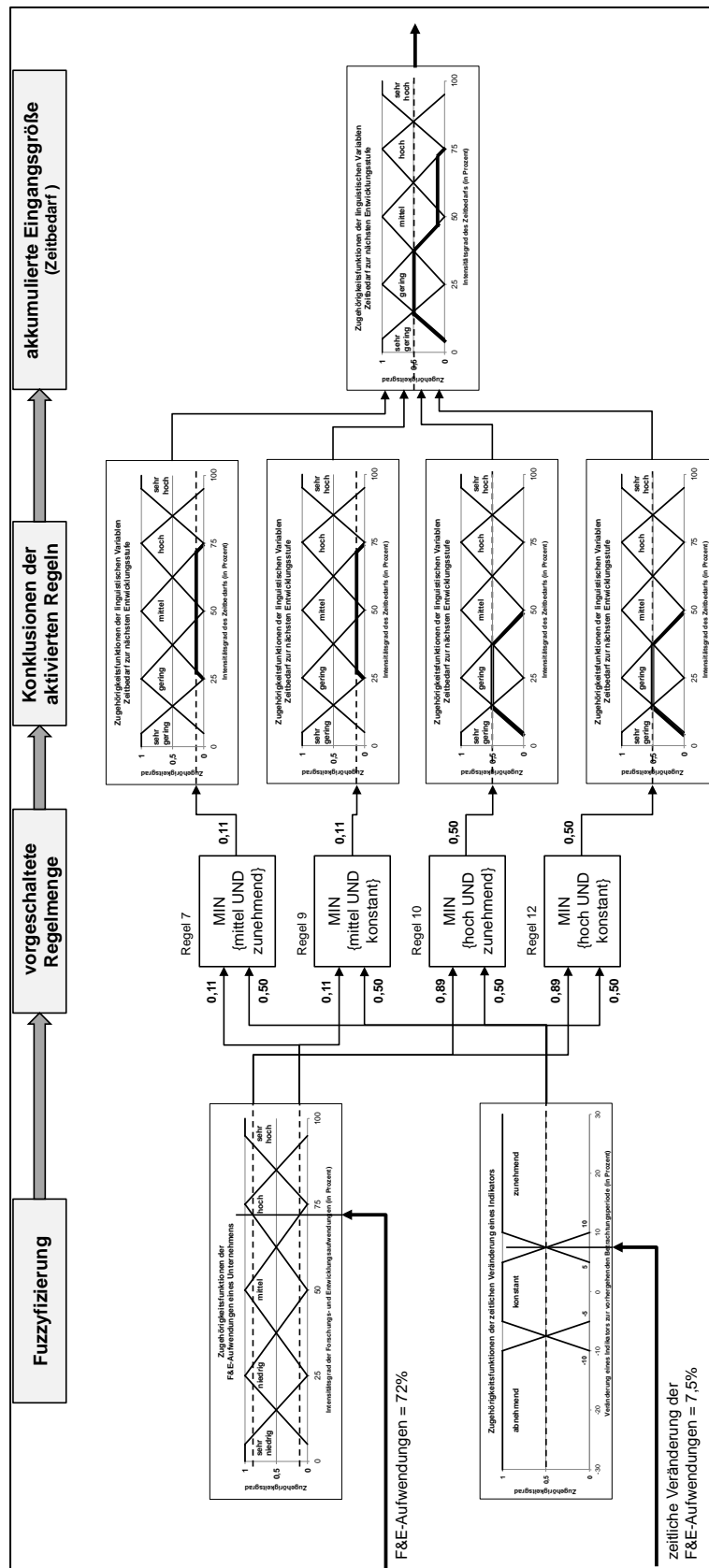
Abbildung 49: Überführung der Ausgangsgröße *Patentanmeldungs-gesamtanzahl* in die Eingangsgröße *Weiterentwickelbarkeit* (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 50: Überführung der Ausgangsgröße *Forschungs- und Entwicklungsaufwendungen* in die Eingangsgröße *Zeitbedarf* (Quelle: Eigene Darstellung)

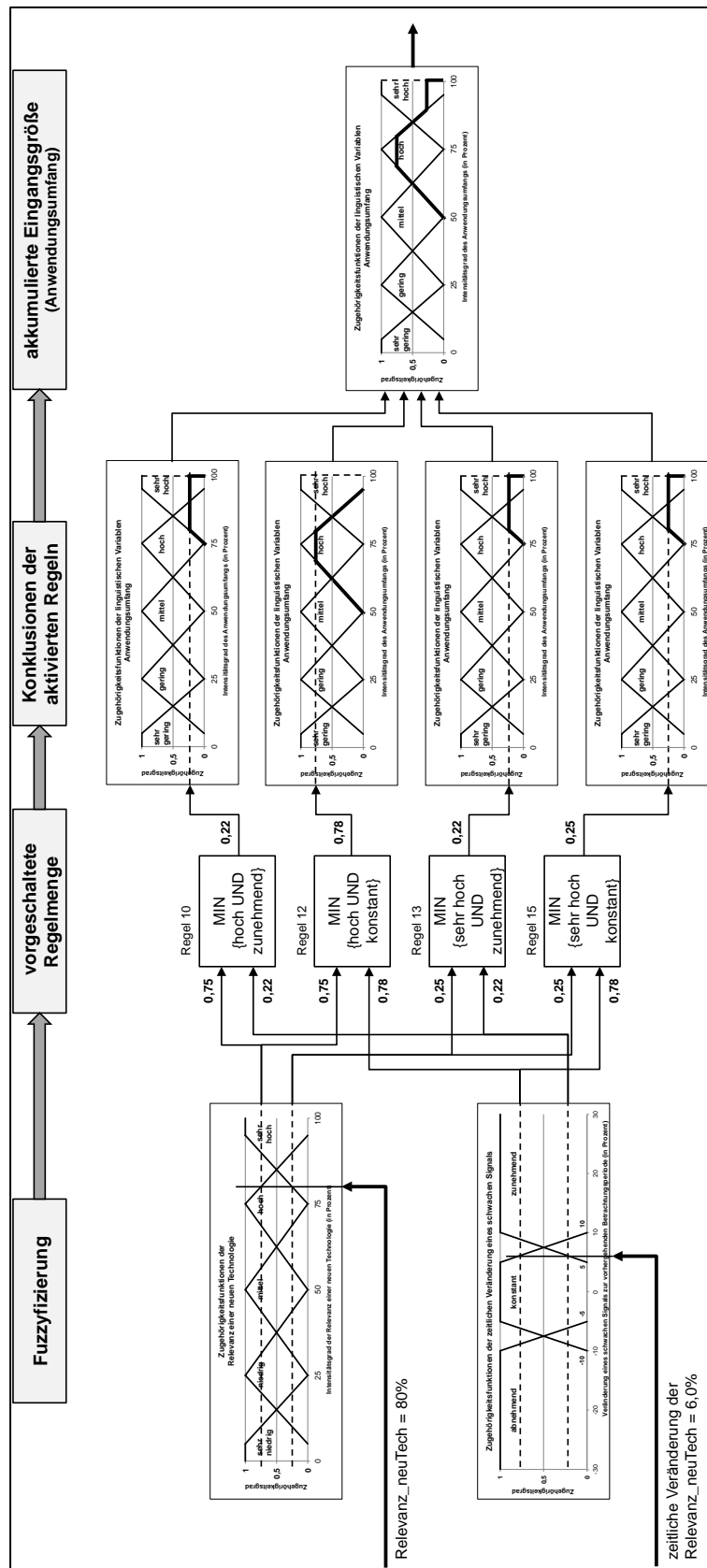


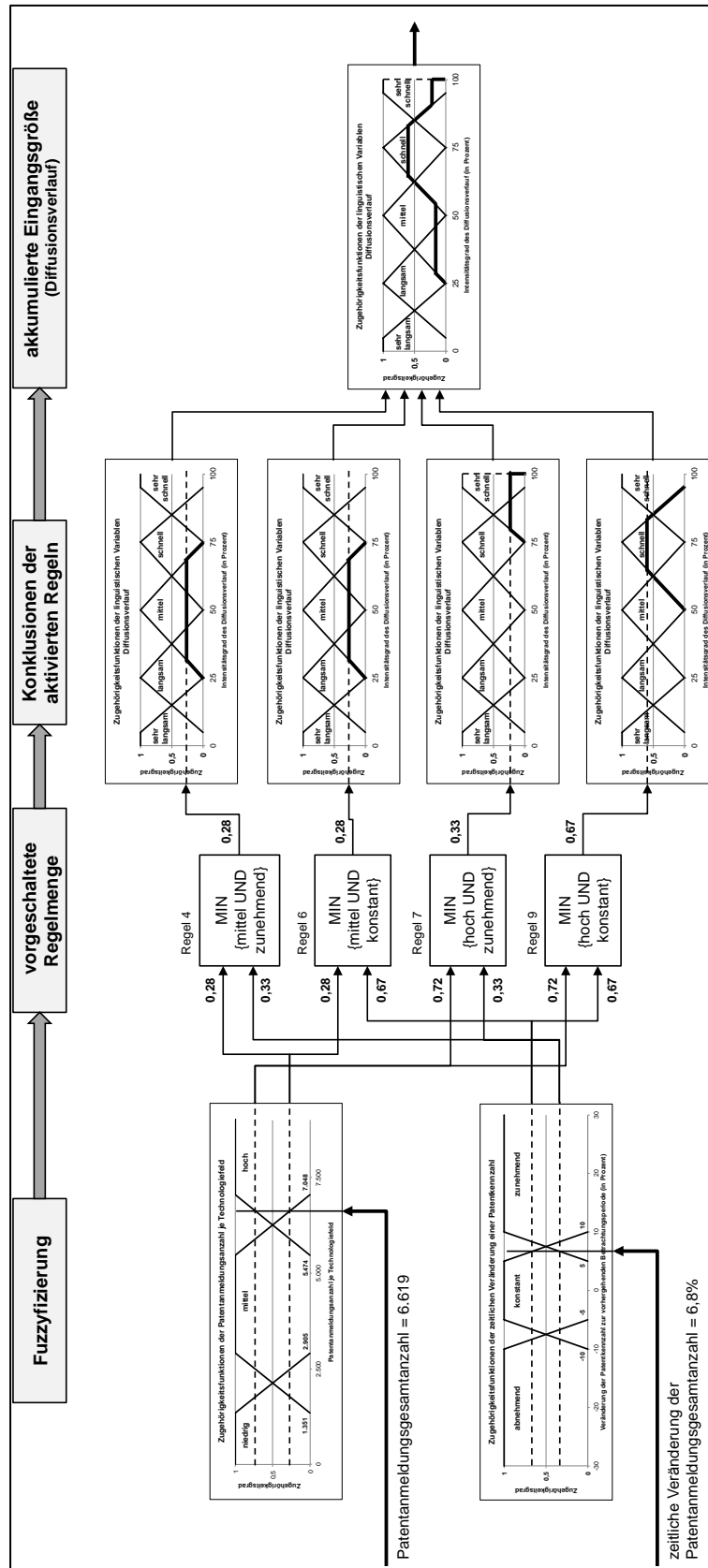
Abbildung 51: Überführung der Ausgangsgröße *Relevanz einer neuen Technologie* in die Eingangsgröße *Anwendungsumfang* (Quelle: Eigene Darstellung)

Abbildung 52: Überführung der Ausgangsgröße *Patentanmeldungsgesamtanzahl* in die Eingangsgröße *Diffusionsverlauf* (Quelle: Eigene Darstellung)

Die hierarchische Vorgehensweise des Technologieportfolio-Konzeptes⁵⁸⁸ wird im zugehörigen Regelblock durch separate Regelmengen für jede Bewertungsstufe berücksichtigt. Um die in der untersten Bewertungsstufe mit der vorgeschalteten Regelmenge ermittelten Eingangsgrößen des Technologieportfolio-Konzeptes in der nächsten Bewertungsstufe zu den linguistischen Variablen Technologie-Potential-Relevanz und Technologie-Bedarfs-Relevanz weiterzuverarbeiten, werden die in Abbildung 53 dargestellten Regelmengen verwendet.⁵⁸⁹

Regelmenge Technologie-Potential- Relevanz		Weiterentwickelbarkeit					Regelmenge Technologie-Bedarfs- Relevanz		Anwendungsumfang				
		sehr gering	gering	<i>mittel</i> {0,28}	<i>hoch</i> {0,67}	<i>sehr hoch</i> {0,33}			sehr gering	gering	mittel	<i>hoch</i> {0,78}	<i>sehr hoch</i> {0,25}
Zeitbedarf	sehr gering	sehr gering	mittel	hoch	sehr hoch	sehr hoch	Diffusions- verlauf	sehr langsam	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering	mittel
	<i>gering</i> {0,50}	sehr gering	gering	<i>mittel min</i> {0,28}	<i>hoch min</i> {0,50}	<i>sehr hoch min</i> {0,33}		langsam	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering	mittel
	<i>mittel</i> {0,11}	sehr gering	sehr gering	<i>gering min</i> {0,11}	<i>mittel min</i> {0,11}	<i>hoch min</i> {0,11}		<i>mittel</i> {0,28}	sehr gering	sehr gering	gering	<i>mittel min</i> {0,28}	<i>hoch min</i> {0,25}
	hoch	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering	mittel		<i>schnell</i> {0,67}	sehr gering	gering	mittel	<i>hoch min</i> {0,67}	<i>sehr hoch min</i> {0,25}
	sehr hoch	sehr gering	sehr gering	sehr gering	gering	mittel		<i>sehr schnell</i> {0,33}	sehr gering	mittel	hoch	<i>sehr hoch min</i> {0,33}	<i>sehr hoch min</i> {0,25}

Abbildung 53: Regelmengen für den Schlussfolgerungsmechanismus des Technologieportfolio-Konzeptes für die zweite Bewertungsstufe (Quelle: Eigene Darstellung)

Mit dem Minimum-Operator wird die linguistische Variable Technologie-Potential-Relevanz aus den unscharfen Eingangsgrößen Weiterentwickelbarkeit und Zeitbedarf und die linguistische Variable Technologie-Bedarfs-Relevanz aus den unscharfen Eingangsgrößen Anwendungsumfang und Diffusionsverlauf gebildet. Die jeweiligen Kombinationsmöglichkeiten eines linguistischen Wertes einer linguistischen Variablen mit den linguistischen Werten der anderen linguistischen Variablen bilden die Prämissen der Regeln, die Schnittpunkte der Zeilen und Spalten bilden die Konklusionen der Regeln in Form linguistischer Werte der Technologie-Potential-Relevanz beziehungsweise der Technologie-Bedarfs-Relevanz ab. In Abhängigkeit von den Zugehörigkeitsgraden der linguistischen Werte der Eingangsgrößen werden die Regeln mit den entsprechenden Prämissen aktiviert.⁵⁹⁰ Die Ergebnisse der

⁵⁸⁸ Vgl. Abbildung 30

⁵⁸⁹ Regelmengen mit zwei Eingangsvariablen und einer Ausgangsvariablen lassen sich sehr übersichtlich in Form einer Matrix darstellen (vgl. Biewer (1997), S. 395 und Altrock (1993), S. 162 - 163).

⁵⁹⁰ Beispielsweise sind in der Regelmenge für die Technologie-Potential-Relevanz die linguistischen Werte *mittel*, *hoch* und *sehr hoch* der Eingangsgröße *Weiterentwickelbarkeit*

Aggregation der Prämissen mit dem Minimum-Operator werden als resultierende Zugehörigkeitsgrade der Konklusionen ausgewiesen. Durch die Akkumulation der Inferenzergebnisse für die einzelnen linguistischen Werte mit dem Maximum-Operator ergeben sich die unscharfen Ausgangsmengen für die Technologie-Potential-Relevanz beziehungsweise die Technologie-Bedarfs-Relevanz.⁵⁹¹ Abbildung 54 veranschaulicht die Ausführungen.

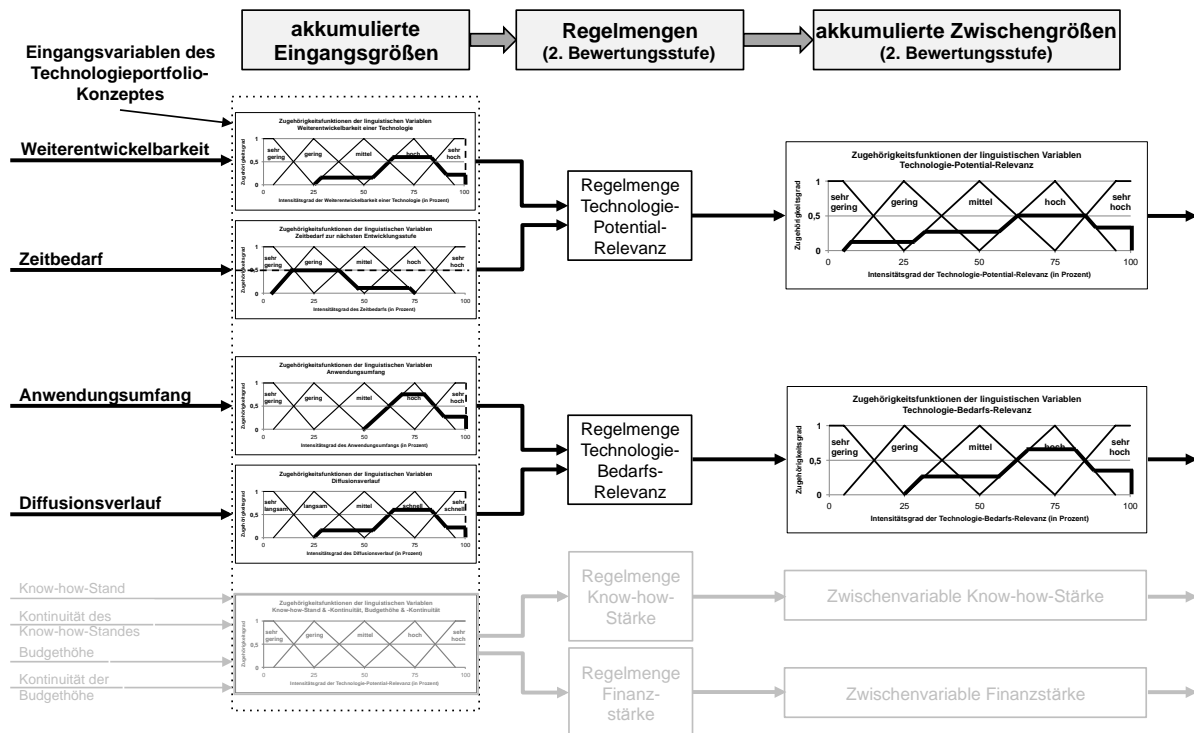


Abbildung 54: Schlussfolgerungsmechanismus des Technologieportfolio-Konzeptes für die zweite Bewertungsstufe (Quelle: Eigene Darstellung)

Mit Hilfe der in Abbildung 55 dargestellten Regelmengen kann schließlich die Weiterverarbeitung der linguistischen Variablen Technologie-Potential-Relevanz und Technologie-Bedarfs-Relevanz zur linguistischen Variablen Technologieattraktivität vorgenommen werden.

sowie die linguistischen Werte *gering* und *mittel* der Eingangsgröße *Zeitbedarf* „aktiviert“. Die hierdurch aktivierten Regeln beziehungsweise Konklusionen sind in den jeweiligen Schnittpunkten von Zeile und Spalte fett dargestellt.

⁵⁹¹ Die resultierenden unscharfen Ausgangsmengen sind durch die grau unterlegten Felder in Abbildung 53 kenntlich gemacht. Die linguistische Variable Technologie-Potential-Relevanz ergibt sich dementsprechend aus den Zugehörigkeitsgraden {0; 0,11; 0,28; 0,50; 0,33} zu den linguistischen Werten {sehr gering, gering, mittel, hoch, sehr hoch} und die linguistische Variable Technologie-Bedarfs-Relevanz aus den Zugehörigkeitsgraden {0; 0; 0,28; 0,67; 0,33} zu den linguistischen Werten {sehr gering, gering, mittel, hoch, sehr hoch}.

Regelmenge Technologieattraktivität		Technologie-Potential-Relevanz				
		sehr gering	<i>gering</i> {0,11}	<i>mittel</i> {0,28}	<i>hoch</i> {0,50}	<i>sehr hoch</i> {0,33}
Technologie- Bedarfs- Relevanz	sehr gering	gering	gering	gering	mittel	mittel
	gering	gering	gering	gering	mittel	mittel
	<i>mittel</i> {0,28}	gering	<i>gering</i> {0,11}	<i>mittel</i> {0,28}	<i>mittel</i> {0,28}	<i>hoch</i> {0,28}
	<i>hoch</i> {0,67}	mittel	<i>mittel</i> {0,11}	<i>mittel</i> {0,28}	<i>hoch</i> {0,50}	<i>hoch</i> {0,33}
	<i>sehr hoch</i> {0,33}	mittel	<i>mittel</i> {0,11}	<i>hoch</i> {0,33}	<i>hoch</i> {0,33}	<i>hoch</i> {0,33}

Abbildung 55: Regelmenge für den Schlussfolgerungsmechanismus des Technologieportfolio-Konzeptes für die dritte Bewertungsstufe (Quelle: Eigene Darstellung)

In Abhängigkeit von den resultierenden Zugehörigkeitsgraden der linguistischen Werte der akkumulierten Zwischengrößen der zweiten Bewertungsstufe werden die Regeln der Regelmenge der dritten Bewertungsstufe aktiviert und die Zugehörigkeitsgrade der jeweiligen sich aus den Schnittpunkten von Zeile und Spalte ergebenden Konklusionen mit dem Minimum-Operator ermittelt.⁵⁹² Abbildung 56 zeigt in Fortführung des Beispiels die resultierende unscharfe Ausgangsmenge für die Technologieattraktivität und eine beispielhaft angenommene unscharfe Ausgangsmenge für die Ressourcenstärke.

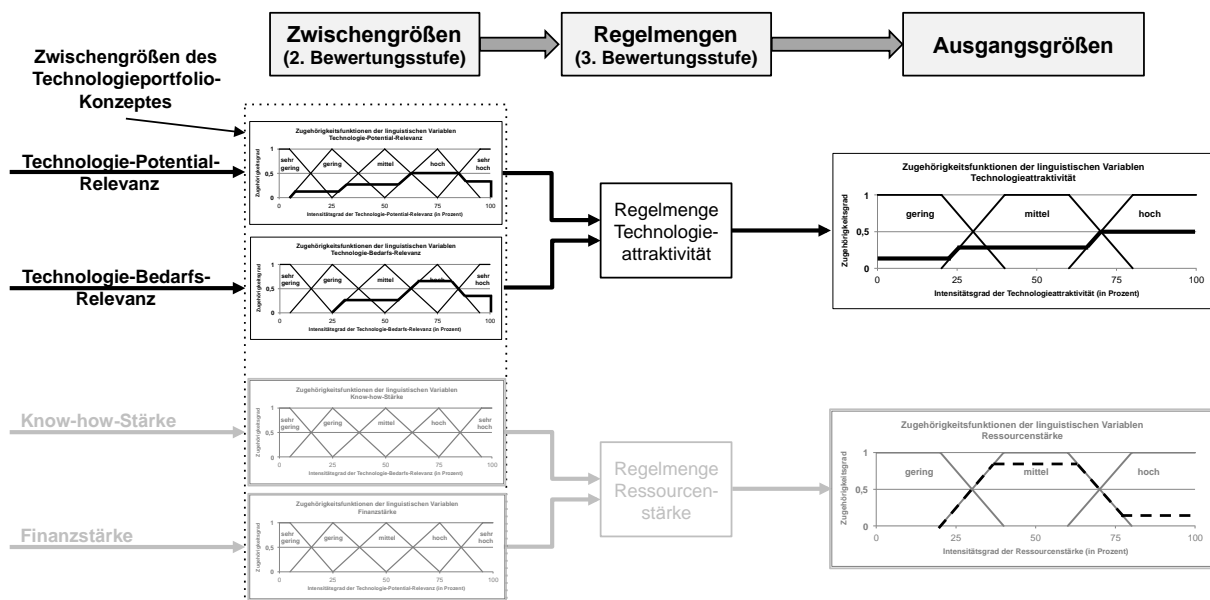


Abbildung 56: Schlussfolgerungsmechanismus des Technologieportfolio-Konzeptes für die dritte Bewertungsstufe (Quelle: Eigene Darstellung)

⁵⁹² Vgl. die Ausführungen zu Abbildung 53

Zur Interpretation und Veranschaulichung des Ergebnisses werden die Ausgangsmengen des Technologieportfolio-Konzeptes in Abbildung 57 in einem Technologieportfolio visualisiert. Die Darstellung des Ergebnisses kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Im Sinne einer plausibelsten Lösung erfolgt die Defuzzifizierung der Ausgangsgrößen auf der linken Seite der Abbildung ausschließlich durch Visualisierung derjenigen linguistischen Werte der Ausgangsgrößen mit dem größten Zugehörigkeitsgrad. Die Größe der Rechtecke drückt dabei die Unschärfe der erfassten Informationen beziehungsweise die mit der aggregierten Beurteilung der Informationen verbundene Unschärfe aus.⁵⁹³ Auf der rechten Seite der Abbildung wird die Defuzzifizierung im Sinne eines besten Kompromisses vorgenommen. Hierbei werden zusätzlich die jeweils an die linguistischen Werte mit den größten Zugehörigkeitsgraden angrenzenden linguistischen Werte in die Betrachtungen einbezogen und als entsprechende Rechtecke visualisiert. Die parallele Auswertung der Informationen führt anhand der sich überlagernden Flächen zu einer differenzierteren Darstellung und Interpretation der Informationen.⁵⁹⁴

⁵⁹³ Vgl. Werners (1993), S. 298 - 299. Das schwarze Rechteck resultiert aus allen, den maximalen Zugehörigkeitsgrad der größten linguistischen Werte repräsentierenden Eingangswerten der linguistischen Variablen Technologieattraktivität beziehungsweise Ressourcenstärke. Entsprechend resultiert das graue Rechteck aus allen Eingangswerten dieser linguistischen Werte mit einem Zugehörigkeitsgrad größer null. Je größer die Flächen der Rechtecke sind, desto größer ist die Unschärfe. Es wird ersichtlich, dass sich neben dem Zugehörigkeitsgrad auch der Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen auf die Größe der Rechtecke auswirkt.

⁵⁹⁴ Vgl. Werners (1993), S. 304 - 305. Im Extremfall führt diese Vorgehensweise sogar zu einer vermeintlich exakten Information (ebenda, S. 305). Diese Durchschnittsbildung beziehungsweise Defuzzifizierung ist allerdings mit einem entsprechenden Informationsverlust verbunden (vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 6.3.2.3).

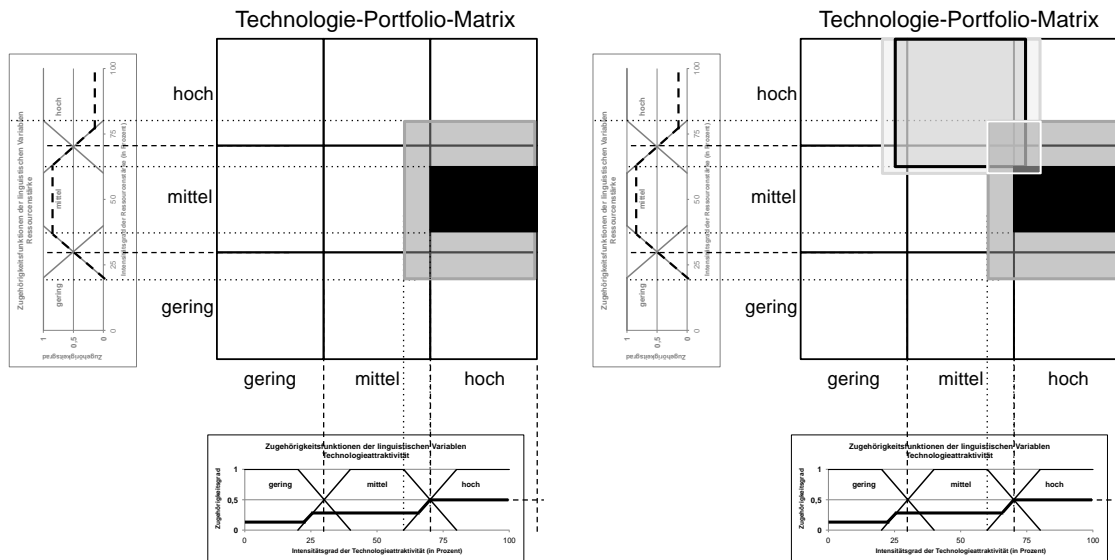


Abbildung 57: Interpretation der Ausgangsmenge und Bestimmung der Positionierung im Technologieportfolio (Quelle: Eigene Darstellung)

Basierend auf der Positionierung des aus der Überlagerung der Flächen der einzelnen linguistischen Werte resultierenden weiß umrandeten Rechtecks kann für die betrachtete Technologie eine entsprechende Normstrategie abgeleitet werden. Ergibt die Positionierung keine eindeutige Strategieempfehlung, können unter Berücksichtigung der Zugehörigkeitsgrade der zur Positionierung führenden Flächen mehrere Normstrategien beziehungsweise eine kombinierte und entsprechend flexiblere Strategie abgeleitet werden.⁵⁹⁵

6.3.3.3 Entwicklung des Regelblockes für die Szenario-Analyse

Entsprechend des vorgestellten Konzeptes der Fuzzy-Szenario-Analyse müssen die identifizierten Einflussfaktoren in einem ersten Schritt bezüglich ihrer Relevanz für eine bestimmte Fragestellung bewertet werden.⁵⁹⁶ Hierzu schlägt das Konzept die Identifikation und Bewertung der Einflussfaktoren durch die Befragung von Experten und Entscheidungsträgern vor. Die Bewertungen der einzelnen Experten und Entscheidungsträger hinsichtlich eines Einflussfaktors sollen dann durch die in Abbildung 58 gezeigte Regelmenge in eine Gesamtbewertung der Relevanz eines Einflussfaktors überführt werden.

⁵⁹⁵ Vgl. Werners (1993), S. 300

⁵⁹⁶ Vgl. die Ausführungen hierzu in Kapitel 6.3.2.1

Regel R_m	WENN anz_{-1}	UND anz_0	UND anz_{+1}	DANN r_i
R_1	hoch	hoch	hoch	relevant
R_2	hoch	hoch	niedrig	irrelevant
R_3	hoch	niedrig	hoch	relevant
R_4	hoch	niedrig	niedrig	irrelevant
R_5	niedrig	hoch	hoch	zentral
R_6	niedrig	hoch	niedrig	relevant
R_7	niedrig	niedrig	hoch	zentral
R_8	niedrig	niedrig	niedrig	relevant

Abbildung 58: Regelmenge für die Fuzzy-Relevanz-Analyse
(Quelle: Kratzberg (2009), S. 182)

Für die Zwecke dieser Arbeit soll im Folgenden ein Ansatz entwickelt werden, bei dem die Identifikation der Einflussfaktoren und die Bewertung der Relevanz der identifizierten Einflussfaktoren für dieses Konzept der Szenario-Analyse mit Hilfe der Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe des Fuzzy-Reglers vorgenommen werden können. Einerseits wird einem schwachen Signal durch dessen Erfassung innerhalb der Scanning-Aktivitäten automatisch eine gewisse Relevanz beigemessen.⁵⁹⁷ Zudem wird auch mit den definierten Frühwarnindikatoren innerhalb der Monitoring-Aktivitäten eine gewisse Relevanz für eine bestimmte Fragestellung verbunden.⁵⁹⁸ In diesem Zusammenhang sollen die aus der Informationserfassung hervorgehenden Informationen beziehungsweise Ausgangsgrößen als relevante Einflussfaktoren betrachtet werden. Der Grad der Relevanz der Einflussfaktoren soll durch entsprechende Regelmengen zur Bewertung der Einflussfaktoren ermittelt werden. Abbildung 59 zeigt für ausgewählte Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe beispielhafte Regelmengen.

⁵⁹⁷ Vgl. Krystek; Müller-Stewens (2006), S. 181

⁵⁹⁸ Vgl. die Ausführungen zum Monitoring in Kapitel 3.5

Patentkennzahl/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable	Frühwarnindikator/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable	Schwaches Signal/ linguistische Variable	Eingangsgröße/ linguistische Variable
Patentanmeldungs- gesamtanzahl	Relevanz	Bedürfnisbefriedigungsgrad	Relevanz	Relevanz_neuTech	Relevanz
niedrig UND zunehmend	relevant	sehr niedrig UND zunehmend	irrelevant	sehr niedrig UND zunehmend	irrelevant
niedrig UND abnehmend	irrelevant	sehr niedrig UND abnehmend	irrelevant	sehr niedrig UND abnehmend	irrelevant
niedrig UND konstant	irrelevant	sehr niedrig UND konstant	irrelevant	sehr niedrig UND konstant	irrelevant
mittel UND zunehmend	relevant	niedrig UND zunehmend	relevant	niedrig UND zunehmend	relevant
mittel UND abnehmend	relevant	niedrig UND abnehmend	irrelevant	niedrig UND abnehmend	irrelevant
mittel UND konstant	relevant	niedrig UND konstant	irrelevant	niedrig UND konstant	irrelevant
hoch UND zunehmend	zentral	mittel UND zunehmend	relevant	mittel UND zunehmend	relevant
hoch UND abnehmend	relevant	mittel UND abnehmend	relevant	mittel UND abnehmend	relevant
hoch UND konstant	zentral	mittel UND konstant	relevant	mittel UND konstant	relevant
		hoch UND zunehmend	zentral	hoch UND zunehmend	zentral
		hoch UND abnehmend	relevant	hoch UND abnehmend	relevant
		hoch UND konstant	relevant	hoch UND konstant	relevant
		sehr hoch UND zunehmend	zentral	sehr hoch UND zunehmend	zentral
		sehr hoch UND abnehmend	zentral	sehr hoch UND abnehmend	zentral
		sehr hoch UND konstant	zentral	sehr hoch UND konstant	zentral

Abbildung 59: Regelmengen zur Ermittlung der Relevanz der Einflussfaktoren
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die linken Spalten der Tabellen bilden die Prämissen der Regeln ab und enthalten die linguistischen Werte der jeweiligen Ausgangsgrößen der untersten Hierarchiestufe beziehungsweise der in Bezug auf ihre Relevanz zu bewertenden Einflussfaktoren. Die rechten Spalten der Tabellen stellen die Konklusionen der Regeln dar. Sie ordnen den linguistischen Werten der Ausgangsgrößen entsprechende linguistische Werte der linguistischen Variablen *Relevanz* zu, wodurch die Bewertung der Ausgangsgrößen hinsichtlich ihrer Relevanz erfolgt.⁵⁹⁹ Aus den Zugehörigkeitsgraden der linguistischen Werte der Ausgangsgrößen resultieren die Aktivierungsgrade der Regeln, aus denen sich wiederum die Zugehörigkeitsgrade der Konklusionen beziehungsweise der linguistischen Werte der Relevanz ergeben. Die Konklusionen der aktivierten Regeln einer Regelmengen werden abschließend mit dem Maximum-Operator zu einer resultierenden Bewertung der Relevanz akkumuliert. Abbildung 60 zeigt die Ermittlung der Relevanz beispielhaft für den Einflussfaktor der Patentanmeldungs-gesamtanzahl.

⁵⁹⁹ Die Angemessenheit der Regeln ist für einen spezifischen Anwendungsfall zu überprüfen.

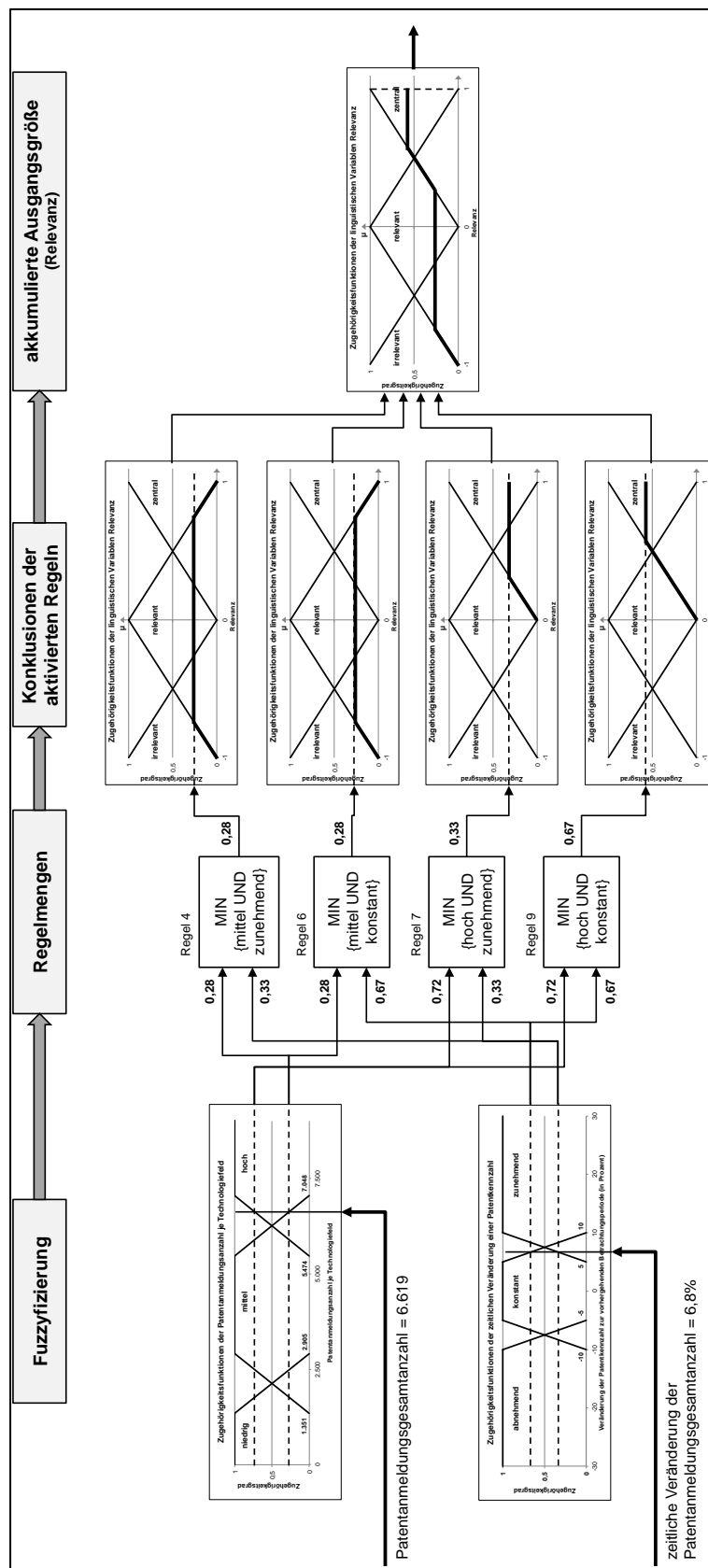


Abbildung 60: Schlussfolgerungsmechanismus der Szenario-Analyse zur Ermittlung der Relevanz der Einflussfaktoren (Quelle: Eigene Darstellung)

Um die Anzahl der im Szenario-Prozess weiter zu betrachtenden Einflussfaktoren durch die Bildung einer Rangordnung der Einflussfaktoren begrenzen zu können, müssen die unscharfen Ausgangsmengen vergleichbar gemacht werden. Eine Möglichkeit ist, die als zentral beziehungsweise relevant bewerteten Einflussfaktoren anhand ihrer maximalen Zugehörigkeitsgrade in eine Rangfolge zu bringen. Diese Vorgehensweise entspricht der Defuzzifizierung einer unscharfen Menge durch die Ermittlung der plausibelsten Lösung. Alternativ kann beispielsweise auch mit Hilfe der Maximum-Mittelwert-Methode der beste Kompromiss für die unscharfen Ausgangsmengen ermittelt und eine entsprechende Rangordnung aus den resultierenden Zugehörigkeitsgraden der mit dieser Methode defuzzifizierten unscharfen Mengen gebildet werden. Abbildung 61 stellt die Vorgehensweisen und resultierenden Rangordnungen beider Methoden für die ausgewählten Einflussfaktoren gegenüber.

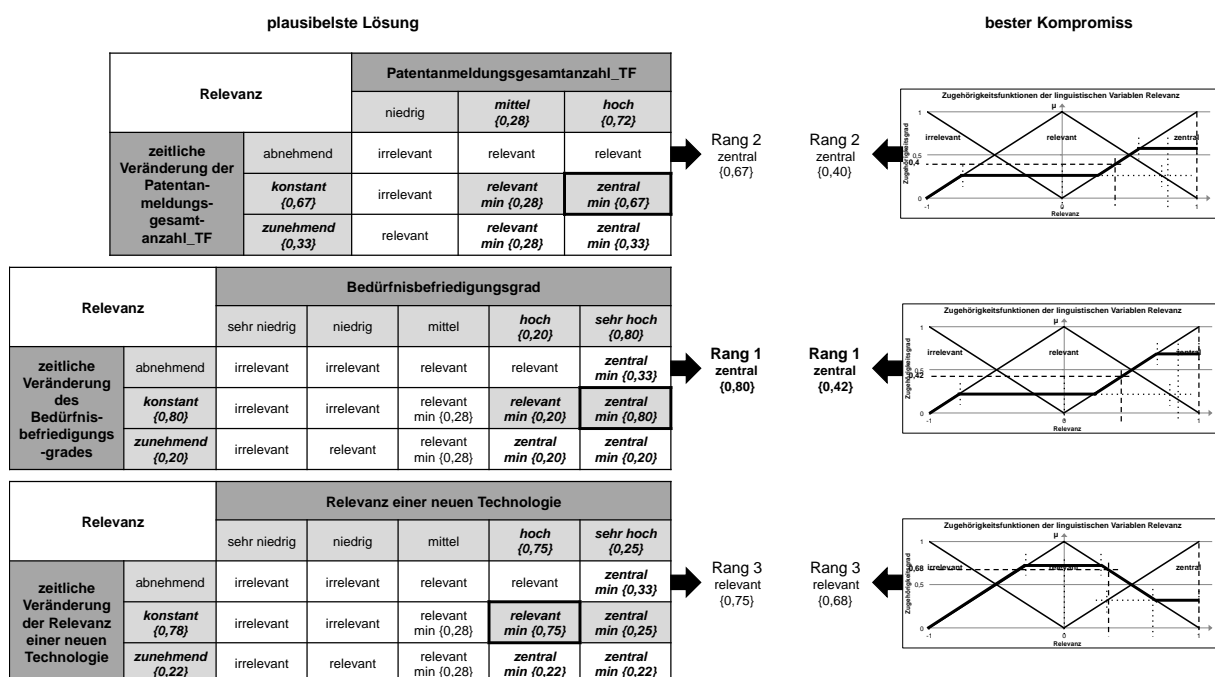


Abbildung 61: Defuzzifizierung der Ausgangsmengen zur Ermittlung einer Rangordnung nach der Relevanz der Einflussfaktoren (Quelle: Eigene Darstellung)

Die grau unterlegten Felder der auf der linken Seite der Abbildung dargestellten Tabellen repräsentieren die resultierenden unscharfen Ausgangsmengen der Einflussfaktoren. Der maximale Zugehörigkeitsgrad dieser unscharfen Ausgangsmengen stellt jeweils die plausibelste Lösung für einen Einflussfaktor

dar.⁶⁰⁰ In Verbindung mit dem korrespondierenden linguistischen Wert kann eine entsprechende Rangordnung der Einflussfaktoren anhand der ermittelten Zugehörigkeitsgrade der Relevanz gebildet werden. Auf der rechten Seite der Abbildung wird eine mögliche Vorgehensweise zur Bildung der Rangordnung durch die Ermittlung des besten Kompromisses für die unscharfe Ausgangsmenge mit Hilfe der Maximum-Mittelwert-Methode und den daraus resultierenden Zugehörigkeitsgraden veranschaulicht.

Im Rahmen der sich anschließenden regelbasierten Konsistenzanalyse werden die relevanten Einflussfaktoren zu Annahmenpaaren gruppiert und hinsichtlich ihrer Konsistenz bewertet. Die konsistenten Annahmenpaare werden wiederum zu Annahmenbündeln kombiniert und im Rahmen der regelbasierten Möglichkeitsanalyse auf die Möglichkeit ihres Eintritts untersucht. Aus den daraus hervorgehenden relevanten, konsistenten und möglichen Annahmenbündeln sind mit Hilfe der regelbasierten Clusteranalyse schließlich möglichst unterschiedliche und repräsentative Annahmenbündel zu identifizieren.⁶⁰¹ Abbildung 62 zeigt beispielhafte Regelmengen zur Durchführung dieser Schritte der Fuzzy-Szenario-Analyse.

Regelmenge der Konsistenzanalyse					Regelmenge der Möglichkeitsanalyse					Regelmenge der Distanzanalyse			
Regel R _m	WENN anz ₁	UND anz ₂	UND anz ₃	DANN k _p	Regel R _m	WENN anz ₁	UND anz ₂	UND anz ₃	DANN poss _p	Regel R _m	WENN A	UND U	DANN DW
R ₁	hoch	hoch	hoch	neutral	R ₁	hoch	hoch	hoch	eingeschränkt möglich	R ₁	niedrig	niedrig	mittel
R ₂	hoch	hoch	niedrig	inkonsistent	R ₂	hoch	hoch	niedrig	unmöglich	R ₂	niedrig	mittel	hoch
R ₃	hoch	niedrig	hoch	inkonsistent	R ₃	hoch	niedrig	hoch	unmöglich	R ₃	niedrig	hoch	hoch
R ₄	hoch	niedrig	niedrig	inkonsistent	R ₄	hoch	niedrig	niedrig	unmöglich	R ₄	mittel	niedrig	niedrig
R ₅	niedrig	hoch	hoch	konsistent	R ₅	niedrig	hoch	hoch	uneingeschränkt möglich	R ₅	mittel	mittel	mittel
R ₆	niedrig	hoch	niedrig	neutral	R ₆	niedrig	hoch	niedrig	eingeschränkt möglich	R ₆	mittel	hoch	hoch
R ₇	niedrig	niedrig	hoch	konsistent	R ₇	niedrig	niedrig	hoch	uneingeschränkt möglich	R ₇	hoch	niedrig	niedrig
R ₈	niedrig	niedrig	niedrig	neutral	R ₈	niedrig	niedrig	niedrig	eingeschränkt möglich	R ₈	hoch	mittel	niedrig
										R ₉	hoch	hoch	mittel

Abbildung 62: Regelmengen für die Fuzzy-Konsistenz-, -Möglichkeits- und -Clusteranalyse
(Quelle: Kratzberg (2009), S. 185, 187, 191)

Für diese Schritte der Fuzzy-Szenario-Analyse wird durch das vorgestellte Konzept wiederum die Befragung von Experten und Entscheidungsträgern vorgeschlagen, um die Eingangsgrößen für die jeweiligen Regelmengen zu bestimmen.⁶⁰² Die Fragestellung, inwieweit diese Schritte auch durch ein wis-

⁶⁰⁰ Die linguistischen Werte mit den maximalen Zugehörigkeitsgraden sind in der Tabelle fett eingerahmt.

⁶⁰¹ Vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 6.3.2.1 und Kratzberg (2009), S. 179 - 192

⁶⁰² Vgl. hierzu die Ausführungen in Kapitel 6.3.2.1

sensbasiertes Fuzzy-System realisierbar sind, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden.

6.3.3.4 Zwischenfazit

In den vorangegangenen Ausführungen wurde die Regelbasis des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess in Form eines hierarchischen Regelwerkes erstellt. Dabei konnte gezeigt werden, dass die Integration unscharfer Informationen in den Technologiefrühaufklärungsprozess und deren Weiterverarbeitung in verschiedenen Methoden und Instrumenten der Technologiefrühaufklärung beziehungsweise entlang der Phasen *Erfassung von Daten und Informationen* sowie *Filtern, Analyse und Interpretation der Daten und Informationen* des Technologiefrühaufklärungsprozesses möglich ist. Um den unterschiedlichen Anforderungen der Unternehmen an die methodische Unterstützung der Technologiefrühaufklärung mit dieser Arbeit gerecht zu werden, wurde mit Hilfe eines Methodenbaukastenansatzes ein allgemeingültiges und flexibles Konzept für den Fuzzy-Regler entwickelt. Der Methodenbaukastenansatz ermöglicht es, den Fuzzy-Regler hinsichtlich der verwendeten Methoden und Instrumente beliebig an eine Anwendungssituation anzupassen.⁶⁰³ Zur Strukturierung des Methodenbaukastens wurden die Methoden und Instrumente anhand der Hauptaufgaben der Technologiefrühaufklärung systematisiert. Aus dieser Struktur wurde schließlich die Grundstruktur des hierarchischen Regelwerkes der Regelbasis des Fuzzy-Reglers abgeleitet. Wegen der Vielzahl an verfügbaren Methoden und Instrumenten für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung konnte die konkrete Ausgestaltung der Regelbasis nur für ausgewählte Methoden und Instrumente erfolgen. Um die Möglichkeit der durchgängigen Nutzung unscharfer Informationen im Technologiefrühaufklärungsprozess aufzuzeigen, wurden für jede Hierarchiestufe beziehungsweise für jede Hauptaufgabe der Technologiefrühaufklärung entsprechende Methoden und Instrumente berücksichtigt und mit Hilfe der Konzepte der Fuzzy Set Theorie miteinander verknüpft. In diesem Zusammenhang wurden für die ausgewählten Methoden und Instrumente zum einen Regelmengen für die Verarbeitung unscharfer Informationen entwickelt beziehungsweise

⁶⁰³ Die Verantwortung für die Auswahl und Kombination geeigneter Methoden und Instrumente hinsichtlich der mit der Technologiefrühaufklärung verbundenen Fragestellungen wird dem Anwender damit nicht abgenommen.

hungsweise vorhandene Konzepte zur Fuzzyfizierung einzelner Methoden und Instrumente zugrunde gelegt und entsprechend adaptiert. Die Fuzzyfizierung der Methoden und Instrumente und die Entwicklung der Regelmengen erfolgten hierbei ausschließlich unter der Maßgabe, die in der Literatur beschriebenen Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen der Methoden und Instrumente abzubilden. Bis auf die explizite und systematische Berücksichtigung unscharfer Informationen innerhalb des Technologiefrühaufklärungsprozesses zur Verbesserung der Entscheidungsgrundlagen stand die Beseitigung etwaiger konzeptioneller Schwächen dieser Methoden und Instrumente nicht im Zentrum der Überlegungen. Zum anderen wurden für die einzelnen Methoden und Instrumente vorgeschaltete Regelmengen zur Verknüpfung der Ausgangsgrößen vorgelagerter Methoden und Instrumente beziehungsweise Hierarchiestufen mit den jeweiligen Eingangsgrößen dieser Methoden und Instrumente entwickelt. Daraus resultiert der in Abbildung 63 dargestellte Prototyp des hierarchischen Regelwerkes des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess.

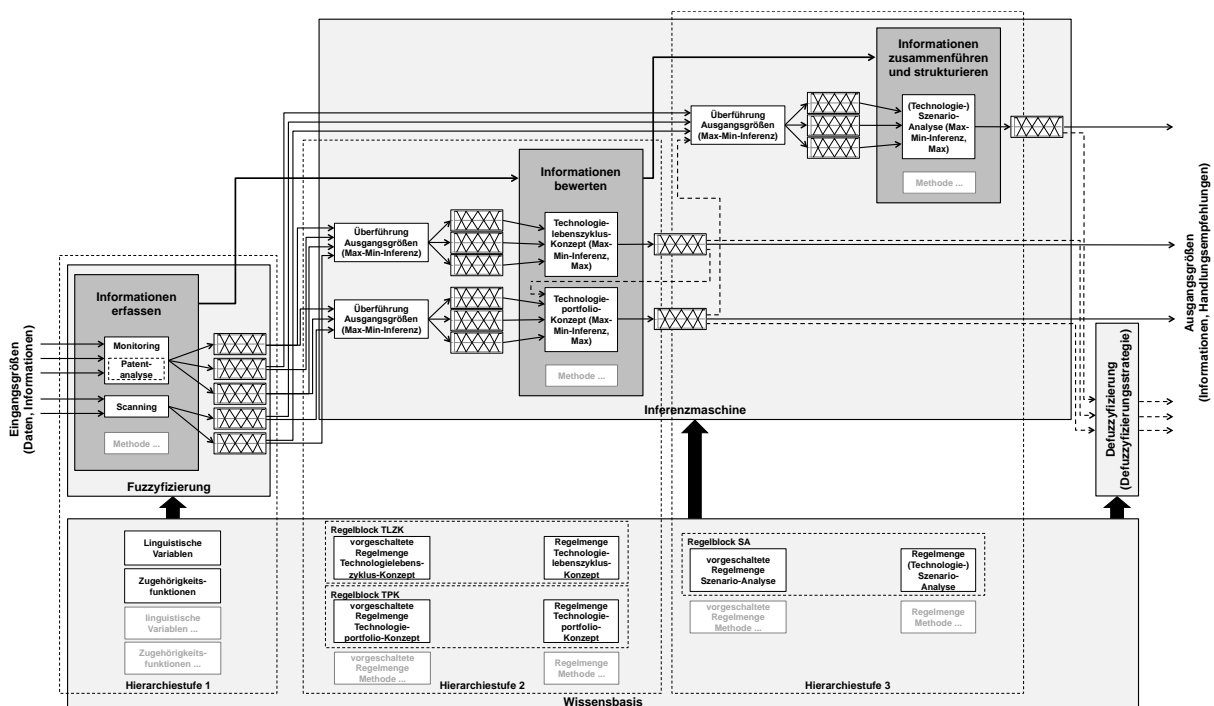


Abbildung 63: Prototyp des Fuzzy-Reglers für den Technologiefrühaufklärungsprozess
(Quelle: Eigene Darstellung)

Die Funktionsweise des Fuzzy-Reglers wurde im Rahmen der Darstellungen zur Entwicklung der Regelmengen für die betrachteten Methoden und Instrumente verdeutlicht. Das in den Methoden und Instrumenten enthaltene Exper-

tenwissen sowie das in der Literatur verfügbare verallgemeinerte Expertenwissen zur Technologiefrühaufklärung wurde vom Autor entsprechend in die Regelmengen des Fuzzy-Reglers überführt. Aufgrund der dennoch existierenden zahlreichen Freiheitsgrade innerhalb der Entwicklungsschritte eines Fuzzy-Reglers muss das Reglerverhalten im konkreten Anwendungsfall auf Plausibilität der Ergebnisse geprüft und gegebenenfalls optimiert werden.⁶⁰⁴ Im Rahmen dieser Arbeit werden die weiteren Schritte der Entwurfsmethodik des Fuzzy-Reglers⁶⁰⁵ zur Optimierung des Reglerverhaltens im Folgenden auf einer allgemeinen Ebene diskutiert, um die verschiedenen Möglichkeiten zur Anpassung eines Fuzzy-Reglers aufzuzeigen.

6.3.4 Optimierung des Reglerverhaltens

Wegen der gegebenen Freiheitsgrade beim Entwurf des Fuzzy-Reglers ist der vorgestellte Ansatz als ein zur Erprobung und Weiterentwicklung bestimmter erster Entwurf anzusehen.⁶⁰⁶ Grundsätzlich lassen sich in allen Entwicklungsschritten des Fuzzy-Reglers Ansatzpunkte zur Korrektur und Optimierung des Reglerverhaltens finden. Die Validität des vorliegenden Fuzzy-Regler-Entwurfs kann für einen konkreten Anwendungsfall gegebenenfalls zunächst durch die situationsspezifische Anpassung und Ergänzung der Regelmengen verbessert werden. Aus der hierarchischen Struktur der Regelbasis und der methodenbeziehungsweise instrumentenbezogenen Teilregelmengen resultiert eine hohe Transparenz und Modularität der Regelmengen. Zur Identifikation der Ursachen eines unerwünschten Reglerverhaltens bietet es sich daher im ersten Schritt an, die Wirkungsweisen der Teilregelmengen zu analysieren. Häufig kann sehr leicht und schnell ermittelt werden, welche der Regeln für ein bestimmtes Verhalten verantwortlich sind, da die relevanten Situationsbeschreibungen und Handlungsempfehlungen explizit in den Regeln dargestellt werden.⁶⁰⁷ Hierbei sind insbesondere auch die vorgeschalteten Regelmengen zur Überführung der Ausgangsgrößen vorgelagerter Hierarchiestufen bezie-

⁶⁰⁴ Vgl. Biewer (1997), S. 396

⁶⁰⁵ Vgl. Abbildung 21

⁶⁰⁶ Dass die mit dieser Arbeit verfolgten Zielstellungen durch den entwickelten Fuzzy-Regler realisiert werden können, wurde durch die Ausführungen aufgezeigt (vgl. auch die Ausführungen in Kapitel 7).

⁶⁰⁷ Vgl. Biewer (1997), S. 396 und Kruse; Gebhardt, Klawonn (1993), S. 187

hungsweise Methoden und Instrumente in die Eingangsgrößen der nachgelagerten Methoden und Instrumente auf eine angemessene Abbildung anwendungsspezifischer Wirkungsbeziehungen zwischen den Größen hin zu verifizieren.

Erweisen sich die in den Regeln abgebildeten Zusammenhänge als grundsätzlich plausibel, kann die Anpassung der linguistischen Variablen und Zugehörigkeitsfunktionen zu entsprechenden Verbesserungen des Reglerverhaltens führen. Hierbei können Anpassungen durch die Änderung der Form beziehungsweise durch Feinabstimmung der Parameter der Zugehörigkeitsfunktionen, durch die Veränderung des Überlappungsgrades der Zugehörigkeitsfunktionen oder der Anzahl der linguistischen Werte sowie der Festlegung des Wertebereiches vorgenommen werden.⁶⁰⁸ In diesem Zusammenhang sind insbesondere die linguistischen Variablen und Zugehörigkeitsfunktionen zur Fuzzyifizierung der Eingangsgrößen des Technologiefrühaufklärungsprozesses im Kontext einer bestimmten Branche oder eines bestimmtem Technologiefeldes auf ihre Angemessenheit zu untersuchen.

Kann mit diesen Anpassungen noch kein zufriedenstellendes Reglerverhalten erzielt werden, ist darüber hinaus die Adäquatheit der Fuzzy-Operatoren, der Inferenz- und der Defuzzyifizierungsstrategien zu überprüfen. Lässt sich auch hierdurch das gewünschte Reglerverhalten nicht realisieren, ist ein Eingriff auf den Ebenen der Reglerstruktur oder der Regelkreisstruktur erforderlich.⁶⁰⁹

⁶⁰⁸ Vgl. Biewer (1997), S. 237 - 240, 393 und Altrock (1993), S. 153

⁶⁰⁹ Vgl. Kiendl (1997), S. 139 und Kruse; Gebhardt, Klawonn (1993), S. 187. Mit dem vorliegenden Entwurf des Fuzzy-Reglers kann nur positives Erfahrungswissen in Form von Handlungsempfehlungen abgebildet werden. Soll auch negatives Erfahrungswissen in Form von Warnungen oder Verboten durch Regeln abgebildet werden, lässt sich dies beispielsweise durch eine zweisträngige Reglerstruktur zur Verarbeitung von positiven und negativen Regeln realisieren (vgl. Kiendl (1997), S. 197 - 202, 217 - 218).

7 Kritische Würdigung des Konzeptes für den fuzzy-basierten Technologiefrühaufklärungsprozesses

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse der Arbeit

Mit der vorliegenden Arbeit wurde ein Konzept zur systematischen Berücksichtigung unscharfer Informationen innerhalb des Technologiefrühaufklärungsprozesses entwickelt. Hierdurch wird es einerseits möglich, die Informationsbasis zur Entscheidungsfindung zu vergrößern, da Informationen integriert werden können, die bisher nicht oder nicht systematisch berücksichtigt wurden. Zum anderen kann die Qualität der Entscheidungsgrundlagen erhöht werden, da die zur Verfügung stehenden Informationen inhaltserhaltend in den Technologiefrühaufklärungsprozess integriert und auch weiterverarbeitet werden können, ohne deren Aussagekraft durch die Anpassung an scharfe Methoden und Instrumente zu verringern beziehungsweise zu verfälschen.

Darüber hinaus wurde mit der vorliegenden Arbeit ein Konzept zur Bereitstellung systematischer Transformationsvorschriften entwickelt, mit dem die methodische Fragmentierung des Technologiefrühaufklärungsprozesses überwunden werden kann. Die Transformationsvorschriften ermöglichen eine systematische und inhaltserhaltende Weiterverarbeitung der Informationen über die betrachteten Phasen des Technologiefrühaufklärungsprozesses hinweg beziehungsweise machen die systematische Weiterverarbeitung der Informationen überhaupt erst möglich. Auch hierdurch kann die Qualität der Entscheidungsgrundlagen erhöht werden.

Die Grundlage zur Entwicklung des Konzeptes für den Technologiefrühaufklärungsprozess bildete die Zusammenführung von Denkansätzen der Fuzzy Set Theorie und der Regelungstheorie. Mit Hilfe eines Fuzzy-Reglers konnte der Prototyp eines wissensbasierten Fuzzy-Systems für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung entwickelt werden. Aufgrund des gewählten Methodenbaukastenansatzes für die Gestaltung des Fuzzy-Reglers steht mit dem vorliegenden Konzept ein allgemeingültiger und flexibler Ansatz zur Verfügung, der eine branchen- und unternehmensspezifische Anpassung des Konzeptes erlaubt.

7.2 Beurteilung der Ergebnisse, der Weiterentwicklungsmöglichkeiten und der Anwendungsgrenzen des Konzeptes

Innerhalb dieser Arbeit konnte für den konzeptionell abgegrenzten Betrachtungsbereich die durchgängige Integrierbarkeit von unscharfen Informationen in den Technologiefrühaufklärungsprozess aufgezeigt werden. Die Potentiale der Fuzzy Set Theorie lassen sich somit auch systematisch in der Technologiefrühaufklärung nutzen. Der langfristige Betrachtungshorizont der Technologiefrühaufklärung lässt in den meisten Fällen nur qualitative Aussagen über zukünftige Entwicklungen in Form von subjektiven unscharfen Einschätzungen von Experten und Entscheidungsträgern zu.⁶¹⁰ Entscheidungsgrundlagen für die Entwicklung von Technologiestrategien wurden bisher nur unzureichend durch eine gezielte Integration dieser unscharfen Informationen in den Technologiefrühaufklärungsprozesses erarbeitet. Stattdessen wird von den am Technologiefrühaufklärungsprozess beteiligten Experten und Entscheidungsträgern häufig eine Kategorisierung und Verarbeitung von unscharfen Informationen nach den Axiomen der klassischen Logik verlangt. Die auf dieser Basis generierten Entscheidungsgrundlagen werden der tatsächlichen Informationslage nicht gerecht und bilden die vorhandene Unbestimmtheit der zukünftigen Entwicklungen nicht adäquat ab. Die Fuzzy Set Theorie ermöglicht eine formalisierte mathematische Verarbeitung von unscharfen Informationen. Durch die Integration der Fuzzy Set Theorie in den Technologiefrühaufklärungsprozess erfährt die Technologiefrühaufklärung eine sinnvolle und notwendige methodische Erweiterung.

Der vorgestellte Ansatz dieser Arbeit macht die in der Technologiefrühaufklärung vorwiegend gegebenen unscharfen Informationen einer Analyse und Bewertung zugänglich und ermöglicht es Experten und Entscheidungsträgern, die Einschätzungen und Beurteilungen über zukünftige Entwicklungen in ihrer natürlichen Sprache anzugeben und damit im Vergleich zu scharfen Methoden

⁶¹⁰ Zwar versuchen Ansätze wie die Szenario-Analyse (vgl. beispielsweise Reibnitz; Gescha; Seibert (1982)) oder das szenariobasierte Technologie-Roadmapping (vgl. Mieke (2006)) durch die Berücksichtigung alternativer Entwicklungsmöglichkeiten von Einflussfaktoren die Unbestimmtheit der zukünftigen Entwicklungen in die Ergebnisse zu integrieren, allerdings werden auch hier für die Ermittlung der Ergebnisse scharfe Eingangsinformationen gefordert und damit eine Genauigkeit dieser Informationen unterstellt, die innerhalb der Technologiefrühaufklärung in der Regel nicht gegeben ist.

und Instrumenten realitätsadäquater abzubilden. Durch die systematische Weiterverarbeitung dieser unscharfen Informationen innerhalb des Fuzzy-Reglers lassen sich Entscheidungsgrundlagen mit sehr viel differenzierterem Informationsgehalt für die Technologiefrühaufklärung entwickeln. Die Entscheidungsgrundlagen verfügen damit über eine höhere Aussagekraft und bilden das Wissen und die Vorstellungen der Experten und Entscheidungsträger über technologierelevante Entwicklungen realitätsnäher und transparenter ab. Hierdurch erreicht die Arbeit ihre erklärte Zielstellung, durch die Integration der Fuzzy Set Theorie die Entscheidungsgrundlagen der Technologiefrühaufklärung zu verbessern. Hierbei nutzt das Konzept die Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen vorhandener Methoden und Instrumente der Technologiefrühaufklärung, modifiziert und verknüpft diese darüber hinaus aber auf neuartige Weise zu einem durchgängigen Instrumentarium für die inhaltserhaltende Verarbeitung unscharfer Informationen innerhalb des Technologiefrühaufklärungsprozesses.

Der im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Fuzzy-Regler für den Technologiefrühaufklärungsprozess ist als Prototyp zu sehen, der auf der Basis der konzeptionellen Vorüberlegungen die Vorgehensweise zur Integration der Fuzzy Set Theorie in die Technologiefrühaufklärung verdeutlicht. Die Zielstellung der Entwicklung eines flexiblen und übertragbaren Ansatzes einerseits und die Vielfalt der Methoden und Instrumente zur Unterstützung der Technologiefrühaufklärung andererseits erforderten wegen des begrenzten Umfangs der Arbeit eine Beschränkung der Anzahl der zur Entwicklung des prototypischen Fuzzy-Reglers berücksichtigten Methoden und Instrumente. Das in den linguistischen Variablen und Regelmengen gespeicherte Wissen über die Technologiefrühaufklärung ist durch die hierarchische Struktur des Regelwerkes und den Methodenbaukastenansatz einer Überprüfung und Modifikation leicht zugänglich. Entscheidungsträger und Branchenexperten können zudem ohne entsprechende theoretische Kenntnisse über die Fuzzy Set Theorie das Konzept intuitiv anwenden.⁶¹¹

Vor der Anwendung des prototypischen Fuzzy-Reglers für eine bestimmte Fragestellung müssen die definierten linguistischen Variablen und deren lingu-

⁶¹¹ Vgl. Werners (1993), S. 287

istische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen sowie die Regelmengen zur Abbildung der Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen der Methoden und Instrumente und deren vorgeschaltete Regelmengen hinsichtlich ihrer Angemessenheit für diese Fragestellung beziehungsweise hinsichtlich der Übereinstimmung mit den subjektiven Einschätzungen und Vorstellungen der beteiligten Experten und Entscheidungsträger überprüft werden.⁶¹² Darüber hinaus müssen für die nur partiell beschriebenen Ansätze zur Fuzzyfizierung der betrachteten Methoden und Instrumente die noch fehlenden linguistischen Variablen oder Regelmengen entsprechend ergänzt werden. Sollen für eine situationsspezifische Fragestellung andere Methoden und Instrumente zur Anwendung kommen, sind diese Methoden und Instrumente zunächst für die Verarbeitung unscharfer Informationen anzupassen und entsprechend zu fuzzyfizieren.⁶¹³

Der Methodenbaukastenansatz des Konzeptes und die Beibehaltung der grundlegenden Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen bei der Fuzzyfizierung der Methoden und Instrumente erleichtern die Umsetzung des fuzzy-basierten Technologiefrühaufklärungsprozesses in den Unternehmen, da einerseits die unternehmensspezifische Gestaltung des Fuzzy-Reglers ermöglicht wird und die Unternehmen zum anderen im Umgang und mit der Handhabung der scharfen Methoden und Instrumente bereits vertraut sind.

⁶¹² Die Zugehörigkeitsfunktionen der linguistischen Variablen zur Informationserfassung wurden auf der Basis von mit vertretbarem Aufwand generierbaren Statistiken sowie Plausibilitätsüberlegungen bestimmt, die als verallgemeinernde Darstellungen grundsätzlicher Zusammenhänge zu betrachten sind, für einen spezifischen Anwendungsfall allerdings unangemessen sein können und daher Anpassungen, beispielsweise bei der Anzahl der linguistischen Werte, dem Wertebereich oder dem Verlauf der Zugehörigkeitsfunktionen, notwendig machen können, um die situationsspezifischen Gegebenheiten adäquat abzubilden. Weiterhin sind die Regeln der einzelnen Regelmengen hinsichtlich der Angemessenheit der jeweils den Prämissen zugeordneten Konklusionen zu überprüfen und gegebenenfalls dem spezifischen Erfahrungswissen von Experten und Entscheidungsträgern entsprechend anzupassen. Unter Umständen kann es auch nötig sein, weitere Regeln zu formulieren, Regeln zu eliminieren oder der Bedeutung einzelner Regeln durch Gewichtungsfaktoren gerecht zu werden.

⁶¹³ In diesem Zusammenhang müssen linguistische Variablen sowie deren linguistische Werte und Zugehörigkeitsfunktionen definiert und Regelmengen zur Abbildung der Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen der Methoden und Instrumente aufgestellt und mit Hilfe von vorgeschalteten Regelmengen in den Informationsverarbeitungsprozess des Fuzzy-Reglers eingebunden werden. Hierbei bieten die dargestellten Vorgehensweisen für die bereits integrierten Methoden und Instrumente eine entsprechende Orientierung.

Hieraus resultiert eine breite Basis für die Anwendung des Konzeptes dieser Arbeit in der Praxis.

Weiterhin kann sich durch den vorgestellten Ansatz dieser Arbeit der Handhabungsaufwand der Methoden und Instrumente durch die Systematisierung der Informationsverarbeitungsprozesse reduzieren und dadurch gegebenenfalls die Ressourcenintensität der Technologiefrühaufklärungsaktivitäten verringert werden. Die Komplexität der Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung erfordert für gewöhnlich den Einsatz erheblicher Ressourcen durch die Unternehmen zur Durchführung der Technologiefrühaufklärungsaktivitäten. Die Einbeziehung unscharfer Informationen und die systematische Weiterverarbeitung der Informationen können einerseits zu einer Verringerung der Anzahl notwendiger Methoden und Instrumente führen.⁶¹⁴ Zudem kann die Durchführung der Technologiefrühaufklärungsaktivitäten durch den Fuzzy-Regler systematisiert beziehungsweise standardisiert werden, da die Funktionsweisen und Schlussfolgerungsmechanismen der eingesetzten Methoden und Instrumente sowie die Wirkungsbeziehungen von Einflussfaktoren in den grundsätzlich mehrfach verwendbaren Regelmengen als Expertenwissen gespeichert sind. Dadurch kann der Beherrschungsaufwand für die Durchführung des Technologiefrühaufklärungsprozesses bei gleichzeitiger Erhöhung der Qualität der Entscheidungsgrundlagen verringert werden. In diesem Zusammenhang könnte das Konzept insbesondere für klein- und mittelständische Unternehmen die Möglichkeiten für eine systematische Durchführung der Technologiefrühaufklärung verbessern und einen Beitrag zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit dieser Unternehmen leisten.

Weiterentwicklungsmöglichkeiten des prototypischen Fuzzy-Reglers bestehen beispielsweise darin, ergänzend weitere Methoden und Instrumente der Technologiefrühaufklärung zu fuzzyfizieren und entsprechend in den Informationsverarbeitungsprozess des Fuzzy-Reglers zu integrieren, um einen vielseitigen Methodenbaukasten beziehungsweise ein umfassendes Instrumentarium mit einem flexiblen und anpassungsfähigen Informationsverarbeitungsprozess für die vielfältigen Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung bereitzustellen.

⁶¹⁴ Beispielsweise kann auf Sensitivitätsanalysen zur Evaluierung scharfer Ergebnisse verzichtet werden, da die hierdurch generierten Informationen bereits in den Zugehörigkeitsfunktionen der unscharfen Mengen enthalten sind (vgl. Mißler-Behr (2001), S. 268).

In diesem Zusammenhang sind beispielsweise auch branchen- oder technologiefeldspezifische Ausgestaltungen des Methodenbaukastens beziehungsweise des Fuzzy-Reglers denkbar. Darüber hinaus können gegebenenfalls durch den Einsatz ergänzender oder alternativer Konzepte der Fuzzy Set Theorie beziehungsweise durch die Weiterentwicklung bestehender oder die Neuentwicklung technologiefrühaufklärungsspezifischer Konzepte der Fuzzy Set Theorie die Anwendungsmöglichkeiten und die Qualität der Ergebnisse des Fuzzy-Reglers erhöht werden.⁶¹⁵ In diesem Zusammenhang ist auch zu überprüfen, ob durch die Verwendung anderer Zugehörigkeitsfunktionsverläufe, Operatoren und Inferenzstrategien das menschliche Schlussfolgerungsverhalten innerhalb der Technologiefrühaufklärung adäquater modelliert werden kann und zu einer Verbesserung der Ergebnisqualität führt. Hinsichtlich der Struktur des Fuzzy-Reglers ist zu untersuchen, inwieweit sich auch andere Reglerstrukturen, wie sie beispielsweise zur Bewältigung der verschiedenen regelungstechnischen Problemstellungen eingesetzt werden⁶¹⁶, als vorteilhaft erweisen.

Die Grenzen der Anwendbarkeit des vorliegenden Konzeptes sind zunächst darin zu sehen, dass die Aktivitäten der Technologiefrühaufklärung vielfach mit neuartigen Rahmenbedingungen verbunden sind, die im Extremfall für jeden Anwendungsfall eine situationsspezifische Anpassungen des Fuzzy-Reglers, beispielsweise bei Zugehörigkeitsfunktionen oder Regelmengen, nach sich ziehen müssen, um eine adäquate Abbildung der Zusammenhänge zu gewährleisten. Der damit verbundene Anpassungsaufwand kann in Verbindung mit der anschließend erforderlichen anwendungssituationsbezogenen Validierung des Reglerverhaltens den Anwendungsnutzen einschränken. Anwendungsgrenzen des Konzeptes sind auch dort gegeben, wo quantitative Methoden für die Fragestellungen der Technologiefrühaufklärung zweckmäßiger eingesetzt werden können. Des Weiteren kann das vorliegende Konzept die Unbestimmtheit in der Technologiefrühaufklärung nicht beseitigen oder eine oberflächliche und grobe Informationsbeschaffung kompensieren. Die Über-

⁶¹⁵ Für die Entwicklung des Fuzzy-Reglers wurde nur auf einen Bruchteil der vorhandenen Konzepte der Fuzzy Set Theorie zurückgegriffen. Inwieweit andere Konzepte der Fuzzy Set Theorie zur Verbesserung der Effektivität und Effizienz des vorgestellten Fuzzy-Reglers Anwendung finden können, ist durch weitere Untersuchungen zu prüfen.

⁶¹⁶ Vgl. beispielsweise Kiendl (1997), S. 43 - 61, 193 - 230 oder Kahlert; Franck (1994), S. 189 - 226

führung der unscharfen natürlich-sprachlichen Ausdrücke in numerisch präzise Werte birgt zudem stets das Risiko, dass die ursprünglich beabsichtigte Wirkung einer Aussage nicht korrekt widerspiegelt wird, da diese Transformation von intuitiven Vorstellungen und subjektiven Empfindungen beeinflusst wird.⁶¹⁷ Dennoch erweist sich die Anwendung des Konzeptes der unscharfen Mengen gegenüber einem vollständigen Verzicht auf die in den unscharfen natürlich-sprachlichen Ausdrücken enthaltenen Informationen im Rahmen der Technologiefrühaufklärung als vorteilhaft.⁶¹⁸

⁶¹⁷ Vgl. Zadeh (1972), S. 5; Carlsson (1982), S. 274

⁶¹⁸ Vgl. Richter (1991), S. 112 - 113

Literatur

Altmann, G. (1998): Technologiemanagement im Mittelstand: Eine Metaanalyse empirischer Forschungsergebnisse. In: Franke, N.; von Braun, C.-F. (Hrsg.): Innovationsforschung und Technologiemanagement. Berlin u.a. 1998, S. 339 - 350.

von Altrock, C. (1993): Fuzzy Logic: Band 1: Technologie. Oldenbourg 1993.

Ansoff, I. (1976): Managing surprise and discontinuity - Strategic response to weak signals. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung. 1976, Jahrgang 28, S. 129 - 152.

Appelrath, H. - J.; Sauer, J.; Suelmann, G. (1997): Globale Ablaufplanung mit Fuzzy-Konzepten. In: Biethahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 71 - 84.

Atanassov, K. T. (1986): Intuitionistic fuzzy sets. In: Fuzzy Sets and Systems. 1986, Volume 20, Issue 1, pp. 87 - 96.

Backhaus, K.; Erichson, B.; Plinke, W.; Weiber, R. (2011): Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung. 13. Auflage, Berlin und Heidelberg 2011.

Bagus, T. (1992): Bonitätsanalyse für das Firmenkundengeschäft der Kreditinstitute. Frankfurt am Main 1992.

Bamberg, G.; Coenenberg, A. G.; Krapp, M. (2008): Betriebswirtschaftliche Entscheidungslehre. 14. Auflage, München 2008.

Bandemer, H. (1997): Ratschläge zum mathematischen Umgang mit Ungewissheit: Reasonable Computing. Stuttgart u.a. 1997.

Basberg, B. L. (1987): Patents and the measurement of technological change: A survey of the literature. In: Research Policy. 1987, Volume 16, Issues 2 - 4, pp. 131 - 141.

Bauer, H. (1992): Maß- und Integrationstheorie. 2. Auflage, Berlin 1992.

Bea, F. X.; Haas, J. (2013): Strategisches Management. 6. Auflage, Konstanz und München 2013.

Becker, J.; Kahn, D. (2012): Der Prozess im Fokus. In: Becker, J.; Kugeler, M.; Rosemann, M. (Hrsg.): Prozessmanagement: Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. 7. Auflage, Berlin und Heidelberg 2012, S. 3 - 16.

Behrens, S. (2003): Möglichkeiten der Unterstützung von strategischer Geschäftsfeldplanung und Technologieplanung durch Roadmapping. Diss. Cottbus, Berlin 2003.

Bellman, R.; Giertz, M. (1973): On the analytic formalism of the theory of fuzzy sets. In: Information Sciences. 1973, Volume 5, pp. 149 - 156.

Bellman, R.; Zadeh, L. A. (1970): Decision-making in a fuzzy environment. In: Management Science. 1970, Volume 17, Number 4, pp. 141 - 164.

Ben-Haim, Y. (1997): Beyond Maximum Entropy: Exploring the Structure of Uncertainty. In: Natke, H. G.; Ben-Haim, Y. (ed.): Uncertainty: Models and Measures. Berlin 1997, pp. 11 - 26.

Ben-Haim, Y.; Elishakoff, I. (1990): Convex Models of Uncertainty in Applied Mechanics. Amsterdam 1990.

Betsch, T.; Funke, J.; Plessner, H. (2011): Denken – Urteilen, Entscheiden, Problemlösen. Berlin und Heidelberg 2011.

Biewer, B. (1997): Fuzzy-Methoden: Praxisrelevante Rechenmodelle und Fuzzy-Programmiersprachen. Berlin u.a. 1997.

Binder, V.; Kantowsky, J. (1996): Technologiepotentiale: Neuausrichtung der Gestaltungsfelder des strategischen Technologiemanagements. Wiesbaden 1996.

Bitterlich, N.; Fröbel, D.; Lull, B. (1997): Fuzzy-basierte Entscheidung zur Auftragsreihenfolge. In: Biethahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 99 - 110.

Bode, J. (1997): Der Informationsbegriff in der Betriebswirtschaftslehre. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung. 1997, Heft 5, S. 449 - 468.

Borgelt, C.; Kruse, R. (2001): Unsicherheit und Vagheit: Begriffe, Methoden, Forschungsthemen. In: Künstliche Intelligenz. 2001, Heft 3, S. 5 - 8.

Bothe, H.-H. (1995): Fuzzy Logic: Einführung in Theorie und Anwendungen. 2. Auflage, Berlin u.a. 1995.

Börcsök, J. (2000): Fuzzy Control: Theorie und Industrieinsatz. Berlin 2000.

Braun, R.; Esswein, W.; Greiffenberg, S. (2006): Einführung in die Programmierung: Grundlagen, Java, UML. Berlin u.a. 2006.

Brockhoff, K. (1992): Instruments for patent data analyses in business firms. In: Technovation. 1992, Volume 12, Issue 1, pp. 41 - 58.

Brockhoff, K. (1999): Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle. 5. Auflage, München 1999.

Bronstein, I. N.; Semendjajew, K. A.; Musiol, G.; Mühlig, H. (2008): Taschenbuch der Mathematik. 7. Auflage, Frankfurt am Main 2008.

Bullinger, H.-J. (1994): Einführung in das Technologiemanagement: Modelle, Methoden, Praxisbeispiele. Stuttgart 1994.

Bullinger, H.-J. (1996): Technologiemanagement. In: Eversheim, W.; Schuh, G.: Produktion und Management: Betriebshütte Teil 1. 7. Auflage, Heidelberg 1996, 4-26 - 4-54.

Burgelman, R. A.; Christensen, C. M.; Wheelwright, S. C. (2009): Strategic Management of Technology and Innovation. 5. Auflage, Boston u. a. 2009.

Busemann, S. (1993): Generierung natürlicher Sprache. In: Görz, G. (Hrsg.): Einführung in die Künstliche Intelligenz. München u.a. 1993, S. 783 - 814.

Bürgel, H. D.; Haller, C.; Binder, M. (1996): F&E-Management. München 1996.

Campbell, R. S. (1983a): Patenting the future: A new way to forecast changing technology. In: The Futurist. 1983, Volume 17, Issue 6, pp. 62 - 67.

Campbell, R. S. (1983b): Patent trends as a technological forecasting tool. In: World Patent Information. 1983, Volume 5, Issue 3, pp. 137 - 143.

Cantor, G. (1895): Beiträge zur Begründung der transfiniten Mengenlehre I. In: Mathematische Annalen. 1895, 46. Jahrgang, S. 481 - 512.

Carlsson, Ch. (1982): Tackling an MCDM-problem with the help of some results from fuzzy set theory. In: European Journal of Operational Research. 1982, Volume 10, Issue 3, pp. 270 - 281.

Carnap, R. (1950): Logical foundations of Probability. Chicago 1950.

Chmielewicz, K. (1979): Forschungskonzeptionen der Wirtschaftswissenschaft. 2. Auflage, Stuttgart 1979.

Choobineh, F.; Behrens, A. (1992): Use of Intervals and Possibility Distributions in Economic Analysis. In: Journal of the Operational Research Society. Volume 43, No. 9, pp. 907 - 918.

Corsten, H.; Gössinger, R.; Schneider, H. (2006): Grundlagen des Innovationsmanagements. München 2006.

Dankbaar, B. (1996): Patterns of Technology Management in European Firms: An Overview. In: Cannell, W.; Dankbaar, B. (Hrsg.): Technology Management and Public Policy in the European Union. New York 1996, pp. 21 - 50.

Deng, J. L. (1989): Introduction to Grey System Theory. In: Journal of Grey System. 1989, Issue 1, pp. 1 - 24.

Dönitz, E. J. (2009): Effizientere Szenariotechnik durch teilautomatische Generierung von Konsistenzmatrizen: Empirie, Konzeption, Fuzzy- und Neuro-Fuzzy-Ansätze. Diss. Bremen, Wiesbaden 2009.

DPMA (2014a): Die Internationale Patentklassifikation. <http://www.dpma.de/service/klassifikationen/ipc/> vom 19.02.2014.

DPMA (2014b): Internationale Patentklassifikation: Sektion F - Maschinenbau; Beleuchtung; Heizung; Waffen; Sprengen: F02 Brennkraftmaschinen; mit Heißgas oder Abgasen betriebene Kraftmaschinenanlagen. <https://depatisnet.dpma.de/ipc/ipc.do?s=F02B0001000000&v=20140101&l=D&dh=dh11&sn=n00&sci=i00#F02B0001000000> vom 19.02.2014.

Dubois, D.; Prade, H. (1980a): Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications. New York u.a. 1980.

Dubois, D.; Prade, H. (1980b): New results about properties and semantics of fuzzy set-theoretic operators. In: Wang, P. P.; Chang, S. K. (eds.): Fuzzy Sets - Theory and Applications to Policy Analysis and Information Systems. New York u.a. 1980.

Dubois, D.; Prade, H. (1982): A class of fuzzy measures based on triangular norms. In: International Journal of General Systems. 1982, Volume 8, Issue 1, pp. 43 - 61.

Dubois, D.; Prade, H. (1988): Possibility Theory: An Approach to Computerized Processing of Uncertainty. New York u.a. 1988.

Dussauge, P.; Hart, S.; Ramanantsoa, B. (1992): Strategic Technology Management. Chichester 1992.

Eisenführ, F.; Weber, M.; Langer, T. (2010): Rationales Entscheiden. 5. Auflage, Heidelberg u.a. 2010.

Elstrodt, J. (2011): Maß- und Integrationstheorie. 7. Auflage, Heidelberg u.a. 2011.

Engelsmann, E. C.; Raan, A. F. J. (1994): A patent-based cartography of technology. In: Research Policy. 1994, Volume 23, Issue 1, pp. 1 - 26.

Ensthaler, J.; Strübbe, K. (2006): Patentbewertung: Ein Praxisleitfaden zum Patentmanagement.

EPA (2012a): European patent applications 2003-2012 per field of technology. [http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/2D9B6DC5AE49C6D9C1257B28004048A8/\\$File/European_patent_applications_2003_2012_per_field_of_technology.xls](http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/2D9B6DC5AE49C6D9C1257B28004048A8/$File/European_patent_applications_2003_2012_per_field_of_technology.xls) vom 19.02.2014.

EPA (2012b): Top 25 applicants per leading field of technology. [http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/6F16A760E096138FC1257B28003E3DF6/\\$File/Top_25_applicants_2012_per_leading_field_of_technology.xls](http://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/6F16A760E096138FC1257B28003E3DF6/$File/Top_25_applicants_2012_per_leading_field_of_technology.xls) vom 19.02.2014.

EPA (2014a): Europäische Patentorganisation. http://www.epo.org/about-us/organisation_de.html vom 19.02.2014.

EPA (2014b): Das Europäische Patentamt. http://www.epo.org/about-us/office_de.html vom 19.02.2014.

EPA (2014c): IPC (International Patent Classification). http://www.epo.org/searching/essentials/classification/ipc-reform_de.html vom 19.02.2014.

Ernst, H. (1996): Patentinformationen für die strategische Planung von Forschung und Entwicklung. Diss. Kiel, Wiesbaden 1996.

Ewald, A. (1989): Organisation des Strategischen Technologie-Managements: Stufenkonzept zur Implementierung einer integrierten Technologie- und Marktplanung. Berlin 1989.

Faix, A. (1998): Patente im strategischen Marketing: Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit durch systematische Patentanalyse und Patentnutzung. Berlin 1998.

Federhen, J. (1997): Netzplantechnik mit unscharfen Zeitangaben. In: Biet-hahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 303 - 318.

Feldmann, C. (2007): Strategisches Technologiemanagement: Eine empirische Untersuchung am Beispiel des deutschen Pharma-Marktes 1990 - 2010. Diss. Chemnitz, Wiesbaden 2007.

Felix, R. (1997): Fuzzy-Entscheidungsunterstützung bei Optimierungsentscheidungen in der Automobilmontage. In: Biethahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 41 - 53.

Forte, M. (2002): Unschärfe in Geschäftsprozessen. Diss. Hannover, Berlin 2002.

Frank, H. (2002): Fuzzy Methoden in der Wirtschaftsmathematik - Eine Einführung. Wiesbaden 2002.

Fung, L. W.; Fu, K. S. (1975): An axiomatic approach to rational decision making in a fuzzy environment. In: Zadeh, L. A.; Fu, K. S.; Tanaka, K.; Shimura, M. (Eds.): Fuzzy Sets and their applications to cognitive and decision processes. New York 1975, S. 227 - 256.

Gelbmann, U.; Vorbach, S. (2007): Das Innovationssystem. In: Strebel, H. (Hrsg.): Innovations- und Technologiemanagement. 2. Auflage, Wien 2007, S. 95 - 155.

Gerpott, T. J. (2002): Information. In: Specht, D.; Möhrle, M. G. (2002): Gabler Lexikon Technologiemanagement: Management von Innovationen und neuen Technologien im Unternehmen. Wiesbaden 2002.

Gerpott, T. J. (2005): Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement. 2. Auflage, Stuttgart 2005.

Gerpott, T. J.; Bicak, I. (2008): Externe Beschaffung technischen Know-hows. In: Das Wirtschaftsstudium. 2008, Heft 12, S. 1662 - 1669.

Geschka, H. (1995): Methoden der Technologiefrühaufklärung und der Technologievorhersage. In: Zahn, E. (Hrsg.): Handbuch Technologiemanagement. Stuttgart 1995, S. 623 - 644.

Geschka, H., Hammer, R. (1990): Die Szenario-Technik in der strategischen Unternehmensplanung. In: Hahn, D.; Taylor, B. (Hrsg.): Strategische Unternehmensplanung – Strategische Unternehmensführung. Stand und Entwicklungstendenzen. 5. Auflage, Heidelberg, 1990, S. 311-316.

Gerybadze, A. (1996): Technologische Vorhersagen (Technical Forecasting). In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Auflage, Stuttgart 1995, S. 2027 - 2040.

Gerybadze, A. (2004): Technologie- und Innovationsmanagement: Strategie, Organisation und Implementierung. München 2004.

Geyer-Schulz, A. (1997): Das Lernen von Bestellregeln in Distributionsketten: Eine betriebswirtschaftliche Anwendung von Fuzzy Genetic Programming. In: Biethahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 155 - 172.

Giles, R. (1976): Łukasiewicz logic and fuzzy set theory. In: International Journal of Man-Machine Studies. 1976, Volume 8, Issue 3, pp. 313 - 327.

Goodman, I. R.; Nguyen, H. T. (1985): Uncertainty Models for Knowledge-Based Systems: A unified Approach to the Measurement of Uncertainty. Amsterdam u. a. 1985.

Green, H.; Mohan, R. (1991): STRATASSIST – A Fuzzy Expert Consultant for Strategic Planning. In: Liebowitz, J. (Hrsg.): Expert Systems World Congress Proceedings. New York 1991, S. 116 - 123.

Grienitz, V. (2004): Technologieszenarien: Eine Methodik zur Erstellung von Technologieszenarien für die strategische Technologieplanung. Diss. Paderborn, Paderborn 2004.

Grupp, H. (2004): Wie erkennt man Innovationen? In: Fraunhofer Magazin. 2004, Ausgabe 1, S. 28 - 29.

Grupp, H.; Hohmeyer, O.; Kollert, R.; Legler, H. (1987): Technometrie – Die Bemessung des technisch-wirtschaftlichen Leistungsstandes. Köln 1987.

Grupp, H.; Hohmeyer, O.; Schmoch, U. (1987): Indikatoren zur Früherkennung von Entwicklungslinien im Entwicklungs- und Innovationsprozess. FhG-Berichte 1/1987. Karlsruhe 1987.

Hamacher, H. (1978): Über logische Aggregationen nicht-binär expliziter Entscheidungskriterien. Frankfurt am Main 1978.

Hartmann, M.; Mild, T.; Sasse, A. (1997): Technologiekostenanalyse als Instrument des Innovationsmanagements. In: Kostenrechnungspraxis: Zeitschrift für Controlling. 1997, Heft 6, S. 312 - 318.

Hauke, W. (1998): Fuzzy-Modelle in der Unternehmensplanung. Habil. Augsburg, Heidelberg 1998.

Hauke, W. (2001): Fuzzy Sets für Unternehmensentscheidungen. In: Schneider, D.; Pflaumer, P. (Hrsg.): Power Tools: Management-, Beratungs- und Controllinginstrumente. Wiesbaden 2001, S. 255 - 266.

Hauschildt, J.; Salomo, S. (2011): Innovationsmanagement. 5. Auflage, München 2011.

Hax, H. (1974): Entscheidungsmodelle in der Unternehmung: Einführung in Operations Research. Hamburg 1974.

Hazebrouk, J.-P. (1998): Konzeption eines Management Support Systems zur Frühaufklärung: ein modellbasierter Ansatz unter Nutzung von Fuzzy Logic. Diss. Bamberg, Wiesbaden 1998.

Helmeke, J.; Hönerloh, A. (1997): Wetterabhängige Produktionsplanung in einem Konditoreibetrieb. In: Biethahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 143 - 153.

Hersh, H. M.; Caramazza, A. A. (1976): A fuzzy set approach to modifiers and vagueness in natural language. In: Journal of experimental psychology: general. 1976, Volume 105, Issue 3, pp. 254 - 276.

Hofmeister, P. (2000): Evolutionäre Szenarien: dynamische Konstruktion alternativer Zukunftsbilder mit unscharfen Regelbasen. Diss. Aachen, Hamburg 2000.

Horvath, P. (2009): Controlling. 11. Auflage, München 2009.

Huxold, S. (1990): Marketingforschung und strategische Planung von Produktinnovationen: ein Früherkennungsansatz. Diss. Köln, Berlin 1990.

Hüsselmann, C. (2003): Fuzzy-Geschäftsprozessmanagement. Diss. Saarbrücken, Köln 2003.

Jenßen, A. (1997): Kapitalwert-Berechnung mit unscharfen Zahlen. In: Biethahn, J.; Hönerloh A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 245 - 259.

Jaanineh, G.: Maijohann, M. (1996): Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control. Würzburg 1996.

Kahlert, J.; Frank, H. (1994): Fuzzy-Logik und Fuzzy-Control: Eine anwendungsorientierte Einführung mit Begleitsoftware. 2. Auflage, Wiesbaden 1993.

Kalonda, N.; Kuhl, J. (1997): Qualitative Beurteilung von Lagerhaltungspolitiken. In: Biethahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 129 - 141.

Keefe, R. (2000): Theories of Vagueness. Cambridge 2000.

Kelly, J. (2003): Logik: Im Klartext. München 2003.

Kiendl, H. (1997): Fuzzy Control methodenorientiert. München 1997.

Klappert, S. (2006): Systembildendes Technologie-Controlling. Diss. Aachen, Aachen 2006.

Klavans, R. A. (1997): Identifying the Research Underlying Technical Intelligence. In: Ashton, W. B.; Klavans, R. A. (Eds.): Keeping Abreast of Science and Technology: Technical Intelligence for Business. Columbus (Ohio) u. a. 1997, S. 23 - 47.

Klein, R.; Scholl, A. (2011): Planung und Entscheidung: Konzepte, Modelle und Methoden einer modernen betriebswirtschaftlichen Entscheidungsanalyse. 2. Auflage, München 2011.

Klir, G. J. (1997): Uncertainty Theories, Measures, and Principles: An Overview of Personal Views and Contributions. In: Natke, H. G.; Ben-Haim, Y. (ed.): Uncertainty: Models and Measures. Berlin 1997, S. 27 - 43.

Koller, H. (2002): Technologiefrühaufklärung. In: Specht, D.; Möhrle, M. (Hrsg.): Gabler-Lexikon Technologie-Management: Management von Innovationen und neuen Technologien im Unternehmen. Wiesbaden 2002, S. 344 - 351.

Kolmogoroff, A. N. (1933): Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Berlin 1933.

Konrad, L. (1991): Strategische Frühaufklärung: eine kritische Analyse des „weak-signals“-Konzeptes. Diss. Bochum, Bochum 1991.

Kornwachs, K. (1995): Identifikation, Analyse und Bewertung technologischer Entwicklungen. In: Zahn, E. (Hrsg.): Handbuch Technologiemanagement. Stuttgart 1995, S. 219 - 241.

Kratzberg, F. C. F. (2009): Fuzzy-Szenario-Management: Verarbeitung von Unbestimmtheit im strategischen Management. Diss. Magdeburg, Göttingen 2009.

Kruse, R. (1993): Fuzzy-Systeme – einige Klarstellungen. In: Künstliche Intelligenz. 1993, Heft 4, S. 73 - 74.

Kruse, R.; Gebhardt, J.; Klawonn, F. (1995): Fuzzy-Systeme. Stuttgart 1995.

Kruse, R.; Meyer, K. (1987): Statistics with vague Data. Dordrecht 1987.

Kruse, R.; Schwecke, E.; Heinsohn, J. (1991): Uncertainty and Vagueness in Knowledge Based Systems. Numerical Methods. Heidelberg 1991.

Krystek, U. (1986): FuE und Frühwarnsysteme. In: Hahn, D.; Taylor, B. (Hrsg.): Strategische Unternehmensplanung - Strategische Unternehmensführung: Stand und Entwicklungstendenzen. Heidelberg u.a. 1986, S. 281 - 305.

Krystek, U.; Müller-Stewens, G. (2006): Strategische Frühaufklärung. In: Hahn, D.; Taylor, B. (Hrsg.): Strategische Unternehmensplanung - Strategische Unternehmensführung: Stand und Entwicklungstendenzen. Berlin u.a. 2006, S. 175 - 194.

Lang, H.-C. (1998): Technology Intelligence: Voraussetzung für den Technologie-Entscheid. In: Tschirky, H.; Koruna, S. (Hrsg.): Technologie-Management: Idee und Praxis. Zürich 1998, S. 395 - 412.

Lehmann, I.; Weber, R.; Zimmermann, H.-J. (1992): Fuzzy Set Theory: Die Theorie der unscharfen Mengen. In: OR Spektrum. 1992, Band 14, S. 1 - 9.
Levelt, W. J. M. (1989): Speaking: from intention to articulation. Cambridge 1989.

Lichtenthaler, E. (2005): Methoden der Technologiefrüherkennung und Kriterien zu ihrer Auswahl. In: Möhrle, M. G.; Isenmann, R. (2005): Technologie-Roadmapping. Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen. 2. Auflage, Berlin u.a. 2005, S. 55 - 80.

Lichtenthaler, U. (2006): Projekte der externen Technologieverwertung: Ziele, Prozesse und Typen. In: Die Unternehmung. 2006, Heft 5, S. 351 - 372.

Liebl, F. (1996): Strategische Frühaufklärung: Trends – Issues – Stakeholders. München u.a. 1996.

Lootsma, F. A. (1997): Fuzzy Logic for Planning and Decision Making. Dordrecht 1997.

Lowe, P. (1995): The Management of Technology. London 1995.

Luhandjula, M. K. (2006): Fuzzy stochastic linear programming: Survey and future research directions. In: European Journal of Operational Research. 2006, Volume 174, Issue 3, pp. 1353 - 1367.

Macharzina, K. (1984): Diskontinuitätenmanagement – Strategische Bewältigung von Strukturbrüchen bei internationaler Unternehmenstätigkeit. Berlin 1984.

Mag, W. (1995): Unternehmensplanung. München 1995.

Mag, W. (1999): Planung und Kontrolle. In: Vahlens Kompendium der Betriebswirtschaftslehre. Band 2. 4. Auflage, München 1999, S. 1 - 64.

Mammitzsch, V. (1999): Fuzzy Theorie als Alternative zur Stochastik - Was heißt hier: Eine Alternative?. In: Seising, R. (Hrsg.): Fuzzy Theorie und Stochastik: Modelle und Anwendungen in der Diskussion. Braunschweig, Wiesbaden 1999, S. 239 - 243.

Meyer-Fujara, J.; Puppe, F.; Wachsmuth, I. (1993): Expertensysteme und Wissensmodellierung. In: Görz, G. (Hrsg.): Einführung in die künstliche Intelligenz. Bonn 1993.

Mieke, C. (2006): Technologiefrühaufklärung in Netzwerken. Diss. Cottbus, Wiesbaden 2006.

Mild, T.; Sasse, A. (1999): Technologiecontrolling. In: BBK. 1999, Heft 16, S. 757 - 772.

Mißler-Behr, M. (2001): Fuzzybasierte Controllinginstrumente: Entwicklung von unscharfen Ansätzen. Habil. Augsburg, Wiesbaden 2001.

Mizumoto, M. (1981a): Fuzzy sets and their operations. In: Information and Control. 1981, Volume 48, Issue 1, pp. 30 - 48.

Mizumoto, M. (1981b): Fuzzy sets and their operations II. In: Information and Control. 1981, Volume 50, Issue 2, pp. 160 - 174.

Momsen, B. (2006): Entscheidungsunterstützung im Wissensmanagement durch Fuzzy regelbasierte Systeme. Diss. Magdeburg, Göttingen 2006.

Moore, R. E. (1966): Interval Analysis. Englewood Cliff 1966.

Möller, K.; Janssen, S. (2009): Performance Measurement von Produktinnovationen: Konzepte, Instrumente und Kennzahlen des Innovationscontrollings. In: Controlling: Zeitschrift für erfolgsorientierte Unternehmenssteuerung. 2009, Heft 2, S. 89 - 96.

Müller-Stewens, G. (1990): Strategische Suchfeldanalyse. 2. Auflage, Wiesbaden 1990.

Narin, F. (1993): Technology indicators and corporate strategy. In: Review of Business. 1993, Volume 14, Issue 3, pp. 19 - 23.

Nauck, D.; Kruse, R. (1997): Fuzzy-Systeme und Soft Computing. In: Bietahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 3 - 21.

Nguyen, H. T. (1997): Fuzzy sets and probability. In: Fuzzy Sets and Systems. 1997, Volume 90, Issue 2, pp. 129 - 132.

Nissen, V. (2007): Ausgewählte Grundlagen der Fuzzy Set Theorie. In: Bankhofer, U.; Nissen, V.; Stelzer, D.; Straßburger, S. (Hrsg.): Ilmenauer Beiträge zur Wirtschaftsinformatik: Arbeitsbericht Nr. 2007-03. Ilmenau 2007.

Nordsieck, F. (1934): Grundlagen der Organisationslehre. Stuttgart 1934.

Norwich, A. M.; Turksen, I. B. (1984): A model for the measurement of membership and the consequences of its empirical implementation. In: Fuzzy Sets and Systems. 1984, Volume 12, Issue 1, pp. 1 - 25.

Oertelt, S. (2009): Innovationscontrolling: Ganzheitliches Verfahren zur Priorisierung und Steuerung von Vorentwicklungsprojekten. Aachen 2009.

Ossadnik, W. (2009): Controlling. 4. Auflage, München 2009.

Paul, H.; Hönerloh, A.; Kerl, B.; Nissen, V. (1997): Unscharfe Tourenplanung bei Dial-a-Ride Systemen. In: Biethahn, J.; Hönerloh A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 209 - 224.

Pawlak, Z. (1982): Rough sets. In: International Journal of Information and Computer Sciences. 1982, Vol. 11, No. 5, pp. 341 - 356.

Perl, E. (2007): Grundlagen des Innovations- und Technologiemanagements. In: Strebel, H. (Hrsg.): Innovations- und Technologiemanagement. 2. Auflage, Wien 2007, S. 17 - 52.

Peiffer, S. (1992): Technologie-Frühaufklärung – Identifikation und Bewertung zukünftiger Technologien in der strategischen Unternehmensplanung. Hamburg 1992.

Pfeiffer, B. - M.; Jäkel, J.; Kroll, A.; Kuhn, C.; Kuntze, H. - B.; Lehmann, U.; Slawinski, T.; Tews, V. (2002a): Erfolgreiche Anwendungen von Fuzzy-Logik und Fuzzy Control (Teil 1). In: at – Automatisierungstechnik. 2002, Band 50, Heft 10, S. 461 - 471.

Pfeiffer, B. - M.; Jäkel, J.; Kroll, A.; Kuhn, C.; Kuntze, H. - B.; Lehmann, U.; Slawinski, T.; Tews, V. (2002b): Erfolgreiche Anwendungen von Fuzzy-Logik und Fuzzy Control (Teil 2). In: at – Automatisierungstechnik. 2002, Band 50, Heft 11, S. 511 - 521.

Pfeiffer, W.; Metze, G.; Schneider, W.; Amler, R. (1991): Technologie-Portfolio zum Management strategischer Zukunftsgeschäftsfelder. 6. Auflage, Göttingen 1991.

Pfohl, H.-C.; Stölzle, W. (1997): Planung und Kontrolle: Konzeption, Gestaltung, Implementierung. 2. Auflage, München 1997.

Pleschak, F.; Sabisch, H. (1996): Innovationsmanagement. Stuttgart 1996.

Pochert, B. (2005): Konzept einer unscharfen Balanced Scorecard: Möglichkeiten der Fuzzyifizierung einer Balanced Scorecard zur Unterstützung des Strategischen Managements. Diss. Göttingen, Göttingen 2005.

Popp, H. (1994): Anwendungen der Fuzzy-set-Theorie in Industrie und Handelsbetrieben. In: Wirtschaftsinformatik. 1994, Volume 36, Number 3, S. 268 - 285.

Popp, H. (1997): Einsatz der Fuzzy-Technik in Industrie und Dienstleistungsbereich - ein Überblick. In: Biethahn, J.; Hönerloh A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 23 - 38.

Porter, M. E. (1985): Technology and competitive advantage. In: Journal of Business Strategy. 1985, Volume 5, Issue 3, pp. 60 - 78.

Qian, Y. (2002): Strategisches Technologiemanagement im Maschinenbau: Erfolgsfaktoren chinesischer Maschinenbauunternehmen im kompetenzbasierten Wettbewerb. Diss. Stuttgart, 2002, urn:nbn:de:bsz:93-opus-10290, <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2002/1029/>, eingesehen am 19.11.2011.

von Raan, A. F. J. (Ed.) (1988): Handbook of Quantitative Studies of Science and Technology. Amsterdam 1988.

Rau, R. (1997): Fuzzy Set-Theorie und Diskriminanzanalyse zur Aufdeckung von Betrugsfällen im Kreditkartengeschäft. In: Biethahn, J.; Hönerloh A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 191 - 206.

Reger, G. (2001): Gestaltung des Technologie-Früherkennungsprozesses in kleinen und mittleren Unternehmen. In: Meyer, J. A. (Hrsg.): Innovationsmanagement in kleinen und mittleren Unternehmen – Jahrbuch der KMU-Forschung 2001. München 2001, S. 75 - 92.

Reibnitz, U. von; Geschka, H.; Seibert, S. (1982): Die Szenario-Technik als Grundlage von Planungen. Frankfurt am Main 1982.

Reitzig, M. (2002): Die Bewertung von Patentrechten: Eine theoretische und empirische Analyse aus Unternehmenssicht. Diss. München, Wiesbaden 2002.

Richter, M. (1991): Konzept eines intelligenten, sprachverarbeitenden Frühwarnsystems zur Vorhersage von Umweltdiskontinuitäten. Diss. Duisburg, Duisburg 1991.

Richter, M. M. (1989): Prinzipien der künstlichen Intelligenz: Wissensrepräsentation, Inferenz und Expertensysteme. Stuttgart 1989.

Rödder, W. (1975): On „and“ and „or“ connectives in fuzzy set theory. Institut für Arbeitswissenschaften, RWTH Aachen, Arbeitsbericht Nr. 75/07.

Rommelfanger, H. (1988): Entscheiden bei Unschärfe: Fuzzy Decision Support-Systeme. Berlin u.a. 1988.

Rommelfanger, H. (1994): Fuzzy Decision Support-Systeme: Entscheiden bei Unschärfe. 2. Auflage, Berlin u.a. 1994.

Rommelfanger, H. (1997): Regelbasierte Entscheidungsunterstützung mit Fuzzy-Logik. In: Biethahn, J.; Hönerloh A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 175 - 190.

Rommelfanger, H. (2004): The Advantages of Fuzzy Optimization Models in Practical Use. In: Fuzzy Optimization and Decision Making. 2004, Volume 3, Issue 4, pp. 295 - 309.

Rommelfanger, H. (2007): A general concept for solving linear multicriteria programming problems with crisp, fuzzy or stochastic values. In: Fuzzy Sets and Systems. 2007, Volume 158, Issue 17, pp. 1859 - 1978.

Rommelfanger, H. (2009): Fuzzy-Mengen - ein Weg zu realitätsnahen mathematischen Modellen. In: Das Wirtschaftsstudium. 2009, Heft 11, S. 1505 - 1511.

Rommelfanger, H.; Eickemeier, S. H. (2002): Entscheidungstheorie: Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen. Berlin u.a. 2002.

Rommelfanger, H.; Unterharnscheidt, D. (1988): Modelle zur Aggregation von Bonitätskriterien. In: Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung. 1988, Jahrgang 40, S. 471 - 503.

Russel, B. (1923): Vagueness. In: Australian Journal of Psychology and Philosophy. 1923, Volume 1, Issue 2, pp. 84 - 92.

Saad, K. N.; Roussel, P. A.; Tiby, C. (1993): Lebenszyklusphasen und die Wettbewerbsbedeutung von Technologien: Anhang zum vierten Kapitel. In: Little, A. D. (Hrsg.): Management der F&E-Strategie. 2. Auflage, Wiesbaden 1993, S. 63 - 70.

Schaff, A. (1974): Unscharfe Ausdrücke und die Grenzen ihrer Präzisierung. In: Schaff, A. (Hrsg.): Sprache und Erkenntnis und Essays über die Philosophie der Sprache. Reinbek (bei Hamburg) 1974, S. 220 - 243.

Schäffer, U.; Steiners, D. (2005): ZP-Stichwort: Controllinginstrumente. In: Zeitschrift für Planung & Unternehmenssteuerung. 2005, Jahrgang 16, Heft 1, S. 115 - 120.

Scheffels, R. (1996): Fuzzy-Logik in der Jahresabschlußprüfung: Entwicklung eines wissensbasierten Systems zur Analyse der Vermögens-, Finanz- und Ertragslage. Diss. Frankfurt am Main, Wiesbaden 1996.

Schlarb, S. (2008): Unscharfe Validierung strukturierter Daten: Ein Modell auf der Basis unscharfer Logik. Diss. Köln, Hamburg 2008.

Schmidt, L. (1997): Verbesserte Bewertung von PPS-Entscheidungen durch Integration von SAP R/3 mit Fuzzy-Tools. In: Biethahn, J.; Hönerloh, A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg.): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 155 - 172.

Schmoch, U., Grupp, H., Mannsbart, W., Schwitalla, B. (1988): Technikprognosen mit Patentindikatoren: Zur Einschätzung zukünftiger industrieller Entwicklungen bei Industrierobotern, Lasern, Solargeneratoren und immobilisierten Enzymen. Köln 1988.

Schneeweiß, Ch. (1991): Planung 1: Systemanalytische und entscheidungstheoretische Grundlagen. Berlin u.a. 1991.

Schneeweiß, Ch. (1992): Planung 2: Konzepte der Prozeß- und Modellgestaltung. Berlin u.a. 1992.

Schreyögg, G.; Geiger, D. (2003): Wenn alles Wissen ist, ist Wissen am Ende nichts?!. Vorschläge zur Neuorientierung des Wissensmanagements. In: DBW: Die Betriebswirtschaft. 2003, Heft 1, S. 7 - 22.

Schröder, H.-H. (1996): Technologiemanagement. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Auflage, Stuttgart 1996, 1994 - 2011.

Schwarz, R. (2002): Controlling-Systeme: Eine Einführung in Grundlagen, Komponenten und Methoden des Controlling. Wiesbaden 2002.

Seising, R. (1999): Fuzzy-Theorie und Stochastik: Modelle und Anwendungen in der Diskussion. Braunschweig und Wiesbaden 1999.

Sepp, H. M. (1996): Strategische Frühaufklärung: Eine ganzheitliche Konzeption aus ökologieorientierter Perspektive. Wiesbaden 1996.

Shackle, G. L. S. (1969): Decision, Order and Time in Human Affairs. 2nd Edition, Cambridge 1969.

Shafer, G. A. (1976): Mathematical Theory of Evidence. Princeton 1976.

Sibbel, R.; Lutschewitz, H. (2004): Fuzzy-Set-Modelle für Investitionsentscheidungen – eine Verknüpfung der Möglichkeitstheorie mit vollständigen Finanzplänen. In: Zeitschrift für Planung und Unternehmenssteuerung. 2004, Jahrgang 15, Heft 1, S. 29 - 55.

Silvert, W. (1979): Symmetric Summation: A Class of Operations on Fuzzy Sets. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1979, Volume 9, Issue 10, pp. 657 - 659.

Sommerlatte, T.; Deschamps, J.-P. (1986): Der strategische Einsatz von Technologien: Konzepte und Methoden zur Einbeziehung von Technologien in die Strategieentwicklung des Unternehmens. In: Little, A. D. (Hrsg.): Management im Zeitalter der Strategischen Führung. 2. Auflage, Wiesbaden 1986, S. 38 - 76.

Specht, D.; Behrens, S.; Mieke, C. (2004): Strategische Flexibilität durch Technologiecontrolling. In: Industrie Management. 2004, Heft 2, S. 51 - 54.

Specht, D.; Mieke, C. (2006): Verbreitung des Technologiemanagements in der industriellen Praxis: Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. In: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb. 2006, Heft 5, S. 273 - 276.

Specht, G. (1996): Technologie-Lebenszyklen. In: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Auflage, Stuttgart 1996, Sp. 1983 - 1994.

Specht, G.; Beckmann, C.; Amelingmeyer, J. (2002): F&E-Management: Kompetenz im Innovationsmanagement. 2. Auflage, Stuttgart 2002.

Speith, Stephan (2008): Vorausschau und Planung neuer Technologiepfade in Unternehmen: Ein ganzheitlicher Ansatz für das strategische Technologiemanagement. Diss. Kassel, Stuttgart 2008.

Spengler, T. (1999): Grundlagen und Ansätze der strategischen Personalplanung mit vagen Informationen. Habil. Frankfurt am Main, München u.a. 1999.

Spies, M. (1993): Unsicheres Wissen: Wahrscheinlichkeit, Fuzzy-Logik, neuronale Netze und menschliches Denken. Heidelberg u.a. 1993.

Spur, G. (1998): Technologie und Management: Zum Selbstverständnis der Technikwissenschaft. München 1998.

Steinle, C.; Eggers, B.; Lawa, D. (1998): Zukunftsgerichtetes Controlling: Unterstützungs- und Steuerungssystem für das Management. 3. Auflage, Wiesbaden 1998.

Stier, W. (1999): Empirische Forschungsmethoden. 2. Auflage, Berlin u.a., 1999.

Takagi, T.; Sugeno, M. (1985): Fuzzy Identification of Systems and Its Application to Modelling and Control. In: IEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1985, Volume 15, Issue 1, pp. 116 - 132.

Thole, U.; Zimmermann, H.-J.; Zysno, P. (1979): On the suitability of minimum and product operator for the intersection of fuzzy sets. In: Fuzzy Sets and Systems. 1979, Volume 2, Issue 2, pp. 167 - 180.

Tilli, T. (1991): Fuzzy-Logik: Grundlagen, Anwendungen, Hard- und Software. München 1991.

Torgerson, W. (1958): Theory and Methods of Scaling. New York 1958.

Trux, W.; Müller, G.; Kirsch, W. (1985): Das Management strategischer Programme: 1. Halbband: Materialien zum Stand der Forschung. 2. Auflage, München 1985.

Tschirky, H. (1998a): Konzept und Aufgaben des Integrierten Technologie-Managements. In: Tschirky, H.; Koruna, S. (Hrsg.): Technologie-Management: Idee und Praxis. Zürich 1998, S. 193 - 394.

Tschirky, H. (1998b): Technologie-Management: Schließung der Lücke zwischen Management-Theorie und Technologie-Realität. In: Tschirky, H.; Koruna, S. (Hrsg.): Technologie-Management: Idee und Praxis. Zürich 1998, S. 1 - 32.

Tversky, A.; Kahneman, D. (1982): Judgement under uncertainty: Heuristics and biases. In: Kahneman, D.; Slovic, P.; Tversky, A. (Hrsg.): Judgement under uncertainty: Heuristics and biases. Cambridge 1982, pp. 3 - 20.

Vester, F. (2005): Die Kunst vernetzt zu denken: Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität. 5. Auflage, München 2005.

Vojdani, N.; Lazar, R. (1997): Fuzzy-Klassifikation am Beispiel der Standortplanung von Industrie- und Gewerbegebieten. In: Biethahn, J.; Hönerloh A.; Kuhl, J.; Nissen, V. (Hrsg): Fuzzy Set-Theorie in betriebswirtschaftlichen Anwendungen. München 1997, S. 227 - 244.

Wall, F. (1999): Planungs- und Kontrollsysteme: Informationstechnische Perspektiven für das Controlling. Grundlagen - Instrumente - Konzepte. Wiesbaden 1999.

Wang, H.-F.; Chang, W.-Y. (2001): Fuzzy Scenario Analysis in Strategic Planning. In: International Journal of General Systems. 2001, Volume 30, Issue 2, pp. 193 - 207.

Werners, B. (1988): Aggregation models in mathematical programming. In: Mitra, G. (eds.): Mathematical Models for Decision Support. Berlin u.a. 1988, S. 295 - 319.

Werners, B. (1993): Unterstützung der strategischen Technologieplanung durch wissensbasierte Systeme. Habil. Düsseldorf, Aachen 1993.

Wild, J. (1982): Grundlagen der Unternehmensplanung. 4. Auflage, Opladen 1982.

Wilson, R. M. (1987): Patent Analysis using Online Databases – II. Competitor Activity Monitoring. In: World Patent Information. 1987, Volume 9, Issue 2, pp. 73 - 78.

Winkler, A. (2008): Target Costing auf Basis unvollkommener Informationen: Zu den Möglichkeiten und Grenzen fuzzy-basierter Ansätze im Target Costing. Diss. Regensburg, Hamburg 2008.

WIPO (2014a): PCT – The International Patent System. <http://www.wipo.int/pct/en/> vom 19.02.2014.

WIPO (2014b): IPC – Technology Concordance Table. http://www.wipo.int/export/sites/www/ipstats/en/statistics/patents/xls/ipc_technology.xls vom 19.02.2014.

WIPO (2014c): International Patent Classification (IPC) - IT support area - Edition 20140101 - Statistics: IPC Statistics. <http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/ITsupport/Version20140101/transformations/stats.html> vom 19.02.2014.

Wittmann, W. (1959): Unternehmung und unvollkommene Information: Unternehmerische Voraussicht – Ungewißheit und Planung. Köln u.a. 1959.

Wolfrum, B. (1994): Strategisches Technologiemanagement. 2. Auflage, Wiesbaden 1994.

Wöhe, G.; Döring, U. (2013): Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 25. Auflage, München 2013.

Yager, R. R. (1980): On a general class of fuzzy connectives. In: Fuzzy Sets and Systems. 1980, Volume 4, Issue 3, pp. 235 - 242.

Yager, R. R. (1988): On Ordered Weighted Averaging Aggregation Operators in Multicriteria Decisionmaking. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1988, Volume 18, Issue 1, pp. 183 - 190.

Zadeh, L. A. (1965a): Fuzzy Sets. In: Information and Control. 1965, Volume 8, Issue 3, pp. 338 - 353.

Zadeh, L. A. (1965b): Fuzzy Sets and Systems. In: Fox, J. (Ed.): System Theory: Microwave Research Institute Symposia, Series XV. New York 1965, pp. 29 - 37.

Zadeh, L. A. (1972): A Fuzzy-Set-Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges. In: Journal of Cybernetics. 1972, Volume 2, Issue 3, pp. 4 - 34.

Zadeh, L. A. (1973): Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. In: IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. 1973, Volume SMC-3, Issue 1, pp. 28 - 44.

Zadeh, L. A. (1975a): The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning - I. In: Information Sciences. 1975, Volume 8, Issue 3, pp. 199 - 249.

Zadeh, L. A. (1975b): The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning - II. In: Information Sciences. 1975, Volume 8, Issue 4, pp. 301 - 357.

Zadeh, L. A. (1975c): The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning - III. In: Information Sciences. 1975, Volume 9, Issue 1, pp. 43 - 80.

Zadeh, L. A. (1975d): Fuzzy Logic and Approximate Reasoning. In: Synthese. 1975, Volume 30, Numbers 3-4, pp. 407 - 428.

Zadeh, L. A. (1978): Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility. In: Fuzzy Sets and Systems. 1978, Volume 1, Issue 1, pp. 3 - 28.

Zadeh, L. A. (1986): Test-Score Semantics as a Basis for Computational Approach to the Representation of Meaning. In: Yager, R. R.; Ovchinnikov, S.; Tong, R. M.; Nguyen, H. T. (eds.): Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers by L. A. Zadeh. New York 1987, pp. 655 - 684.

Zadeh, L. A. (1987): A Theory of Approximate Reasoning. In: Yager, R. R.; Ovchinnikov, R. M.; Tong, R. M.; Nguyen, H. T. (eds.): Fuzzy Sets and Applications: Selected Papers by L. A. Zadeh. New York 1987, pp. 367 - 412.

Zadeh, L. A. (1989): Knowledge Representation in Fuzzy Logic. In: IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 1989, Volume 1, Issue 1, pp. 89 - 100.

Zadeh, L. A. (1994): Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing. In: Communications of the ACM. 1994, Volume 37, Issue 3, pp. 77 - 84.

Zadeh, L. A. (1995): Discussion: Probability Theory and Fuzzy Logic Are Complementary Rather Than Competitive. In: Klir, G. J.; Yuan, B. (eds.): Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy-Systems: Selected Papers by Lotfi A. Zadeh. New York 1995, pp. 805 - 810.

Zahn, E. (1979): Diskontinuitäten im Verhalten sozio-technischer Systeme: Betriebswirtschaftliche Interpretationen und Anwendungen von Theoremen der mathematischen Katastrophentheorie. In: DBW: Die Betriebswirtschaft. 1979, Jahrgang 39, Heft 16, S. 119 - 141.

Zahn, E. (1995): Gegenstand und Zweck des Technologiemanagements. In: Zahn, E. (Hrsg.): Handbuch Technologiemanagement. Stuttgart 1995, S. 3 - 32.

Zeller, A. (2003): Technologiefrühaufklärung mit Data Mining: Informationsprozessorientierter Ansatz zur Identifikation schwacher Signale. Diss. Stuttgart, Wiesbaden 2003.

Zimmer, A. C. (1984): A model for the interpretation of verbal predictions. In: International Journal of Man-Machine Studies. 1984, Volume 20, Issue 1, pp. 121 - 134.

Zimmer, A. C. (1986): What uncertainty judgements can tell about the underlying subjective probabilities. In: Kanal, L. N.; Lemmer, J. F. (eds.): Uncertainty in Artificial Intelligence. Amsterdam 1986.

Zimmermann, H.-J. (1982): Strategische Planung. Eine potentielle Anwendung der Theorie unscharfer Mengen. In: Fleischmann, B.; Bloech, J.; Fandel, G.; Weber, H. (Hrsg.): DGOR Operations Research Proceedings 1981: Papers of the 10th Annual Meeting. Berlin 1982, S. 369 - 376.

Zimmermann, H.-J. (1989): Strategic Planning, Operations Research and Knowledge based Systems. In: Verdegay, J. - L.; Delgado, M. (eds.): The Interface between Artificial Intelligence and Operations Research in Fuzzy Environment. Köln 1989, S. 253 - 274.

Zimmermann, H.-J. (1991): Fuzzy Set Theory – and its applications. 2. Auflage, Boston u.a. 2001.

Zimmermann, H.-J. (1992): Die Formulierung und Lösung schlecht-strukturierter Entscheidungsprobleme. In: Gál, T.; Burkard, R. E.; Beckmann, M. J. (Hrsg.): Grundlagen des Operations Research: Spieltheorie, Dynamische Optimierung, Lagerhaltung, Warteschlangentheorie, Simulation, Unscharfe Entscheidungen. 3. Auflage, Berlin u.a. 1992.

Zimmermann, H.-J. (1993): Fuzzy Technologien: Prinzipien, Werkzeuge, Potentiale. Düsseldorf 1993.

Zimmermann, H.-J. (1995): Neuro + Fuzzy: Technologien - Anwendungen. Düsseldorf 1995.

Zimmermann, H.-J. (1997): Uncertainty Modelling and Fuzzy Sets. In: Natke, H. G.; Ben-Haim, Y. (ed.): Uncertainty: Models and Measures. Berlin 1997, S. 84 - 100.

Zimmermann, H.-J. (1999): Zur Modellierung von Unsicherheit realer Probleme. In: Seising, R. (Hrsg.): Fuzzy Theorie und Stochastik: Modelle und Anwendungen in der Diskussion. Braunschweig u.a. 1999, S. 287 - 301.

Zimmermann, H.-J. (2000): An application-oriented view of modelling uncertainty. In: European Journal of Operational Research. 2000, Volume 122, Issue 2, pp. 190 - 198.

Zimmermann, H.-J. (2001): Fuzzy Set Theory – and its applications. 4. Auflage, Boston u.a. 2001.

Zimmermann, H.-J.; Zysno, P. (1980): Latent connectives in human decision making. In: Fuzzy Sets and Systems. 1980, Volume 4, Issue 1, pp. 37 - 51.

Zimmermann, H.-J.; Zysno, P. (1983): Decisions and evaluations by hierarchical aggregation of information. In: Fuzzy Sets and Systems. 1983, Volume 10, Issue 1-3, pp. 243 - 260.

Zimmermann, H.-J.; Zysno, P. (1985): Quantifying vagueness in decision models. In: European Journal Of Operations Research. 1985, Volume 22, Issue 2, pp. 148 - 158.

Zörgiebel, W. W. (1983): Technologie in der Wettbewerbsstrategie: Strategische Auswirkungen technologischer Entscheidungen untersucht am Beispiel der Werkzeugmaschinenindustrie. Berlin 1983.